

澳門填海新城區低碳生態城市設計
可行性研究計劃

Low Carbon Urban Design Research for Macau

Final Report

Project Management:

Macau Urban Planning Institute

Research Team:

Urban Design Studio/ Eco Systems Design Simulation Lab (ESDS)

College of Architecture, Georgia Institute of Technology



本計劃成員

Macau Urban Planning Institute

- 崔世平 博士 (Dr. Joe Chui)
- 韓佩詩女士 (Ms. Natalie Yan)
- Ms. Carmen Lo/ Urban Planner

Georgia Institute of Technology

- 楊沛儒 博士 (Dr Perry Yang)/ Principal Investigator 計畫主持人/ 美國喬治亞理工學院城市區域規劃及建築學教授
- 李正偉 博士 (Dr Zhengwei Li)/ Project Manager 計劃負責人/ 美國喬治亞理工學院建築學博士
- 陸毅 博士 (Dr Yi Lu)/ System Simulation Planner 系統規劃師/ 美國喬治亞理工學院建築學博士
- Robert J Piatkowski/ City Planner 城市規劃師/ 美國喬治亞理工學院城市及區域規劃碩士

Student Participants

- Looft, Allie; Anna Day; PATEL , ARPAN K; Jindal, Chandni; Paris, Chris E; Balogh, Eric S; Lee, Jenna E; Mai, Ken T; Cullen, Michael D; Walters, John M; Abdullah, Mikal; WILLEY , NATHANIEL D; Sewell, Patrick D; Raymond, Ralph E; Akash, Rati; Frederick, Sara A; WHEELLOCK , TIMOTHY J; Douangchai, Vanhvilai L; Jeong Il Park

說明

本報告是美國喬治亞理工學院 (Georgia Institute of Technology) 建築學院為澳門城市規劃學會所進行的研究項目的報告，於 2011 年六月份完成。本研究的工作團隊由喬治亞理工學院建築學院的「生態系統設計模擬實驗室 Eco Systems Design Simulation Lab (ESDS)」的主要研究成員所組成，並結合建築學院 2011 年春季班的設計課程 Urban Design Studio，有十九位建築學院包括建築系學生以及城市及區域規劃系的研究生的參與所完成。

這個研究於期中及期末階段，在 2011 年 3 月 9 日以及 2011 年 4 月 29 日在喬治亞理工學院的建築學院發表成果，並邀請建築、城市規劃以及低碳生態系統的校內外專家進行評審會議。受邀參與的教授與專家包括：

Professor Ellen Dunham-Jones (Professor of Architecture, Georgia Tech)

Professor Richard Dagenhart (Professor of Architecture and Urban Design, Georgia Tech)

Professor Mike Dobbins (Professor of City and Regional Planning, Georgia Tech)

Professor Harley Etienne (Professor of Community Planning, Georgia Tech)

Professor Michael E. Chang (Professor and Deputy Director of Institute of Sustainable Systems, Georgia Tech)

Steve Foran (Green Building expert and Senior Associate, HOK)

Katherine Moore (urban planner, the program manager of Georgia Conservancy)

Shannon Powell, Dan Hourigan, Ginny Kennedy (the director and planners of Atlanta Midtown Alliance)

此外，本團隊也於期末初稿階段，於 2011 年 5 月 24 日邀請 Marilyn Brown 教授（Professor of Public Policy, Georgia Tech）評介本研究成果。Marilyn Brown 教授因擔任氣候變遷跨國政府委員會 IPCC (the Intergovernmental Panel on Climate Change)，於 2007 年和 IPCC 及美國前副總統高爾共同獲得諾貝爾獎。其著名的 Brookings Institution 研究報告針對美國 200 個都會區的碳足跡，提出城市碳足跡研究的方法論，對本研究有很大參考價值。我們也已將 Marilyn Brown 教授過去對於低碳城市研究的主要成果，包含在參考資料之中。

本計劃與現有低碳城市文獻在研究方法上的區別

城市低碳研究正快速崛起，目前已有的文獻（包括 Marilyn Brown 對於美國兩百個都會區的低碳研究），多半採取由上而下的系統輸入輸出 (input-output) 研究方法，僅估計碳排放在區域發展中的總量。本研究對於全球低碳城市研究，除參考已有的由上至下總量研究方法，另外發展一由下而上的空間分析方法，探討城市內部空間結構 (internal structure) 包括密度及空間形態以及碳排放的關係。其目的在於讓碳足跡的分析，落實到城區及街廓尺度的相關規劃課題，對於澳門填海區下一階段的低碳城市建設，本研究所提出的架構與流程，將提供一可操作的方法，以應用於城市規劃所關注的密度、開發形態及生態績效的評估等關係。

本計劃的資料來源與資料建立

這種由下而上的空間分析方法，主要依賴於個案城市的空間基礎資料，再以能耗模擬的方式來推估碳的排放量。所需資料包括地區的道路、街廓、建築的量體及高度等空間訊息。本研究所選定的 7 個城市及 12 個城區的空間資料，除澳門資料由澳門城市規劃學會蒐集並提供，其他 6 城市及 10 個城區的空間資料均為研究團隊，利用網路開放的資料來源 (open sources) 自行建立，主要包括 Google Earth 上可供下載的地形與建物，以及各個城市的官方網站，取得其他公開訊息，再由研究團隊以上述資料為基礎，自行建立空間資料庫。相關的網站開放資料來源已附在報告書最後的參考資料中。

本報告書的架構

本報告書分為三個部分：第一部分是全球水岸城市研究，第二部分對澳門的兩個個案進行專題研究，第三部分提出一政策架構與準則建議，以提供澳門填海新區下一階段低碳城市設計的參考。

目錄

Contents

第一部分 全球水岸城市研究.....	6
1.1 工作方法和步驟.....	6
1.2 國際水岸城市選擇.....	7
1.3 階段一：基礎資料分析.....	9
1.4 階段二：大尺度層面分析.....	24
1.5 階段三：中尺度層面資訊收集和分析.....	28
1.6 階段四：小尺度層面資訊收集和分析.....	48
1.7 第一部分總結.....	56
第二部分 澳門專題.....	58
2.1 大尺度分析.....	58
2.2 中尺度分析.....	64
2.3 小尺度分析.....	75
2.4 第二部分總結.....	83
第三部分 低碳城市設計的政策架構及準則建議.....	84
3.1 集中式的高密度城市發展政策.....	85
3.2 土地的多元混合使用.....	87
3.3 小地塊的街區和街道系統設計.....	88
3.4 績效評估為導向的建築開發及空間形態準則.....	89
3.5 多層次綠色空間設計原則.....	94
3.6 其他重要的低碳生態設計因素：水.....	95
結論	96
參考資料	98

第一部分 全球水岸城市研究

1.1 工作方法和步驟

本研究為了在不同的空間尺度比較不同城市的能耗和碳排放，選擇了在三個不同的層面上做比較：

層面 1 - 大尺度 (城市). 在這一層面，研究人員收集了有關能耗和城市、人口、地區的統計數據，通過比較這一尺度的數據，得到能耗排放情況和城市人口密度、面積等大尺度參數之間的關係，基本上所採取的是總量的概念。

層面 2 - 中尺度 (地區或街區). 在這一層面，能耗通過由下而上的方法計算，即首先計算單棟建築的能耗，然後疊加累計。太陽能可接受率在 GIS 平臺上直接計算。在這一層面，研究人員研究能耗/太陽能接受情況與更具體的城市規劃參數 (街區長度, 建築容積率 人口密度, 建築形態) 之間的關係。

層面 3 - 小尺度 (街廓). 在這一層面，太陽能可接受率用更精確的計算工具 (Ecotect) 計算，目的是得到建築/街區的規劃參數與太陽能可接受率之間的關係。

研究在步驟上採用如下流程：收集資訊 -> 大尺度層面分析 -> 微尺度層面繪圖，建模和分析 -> 中尺度層面繪圖，建模和分析。收集所研究城市，街區和建築的資訊是後續研究工作的基礎。大尺度層面分析所需要的工作量和信息量較少（一些宏觀統計資料，如人口密度，城市面積，總/人均能源消耗，總/人均碳排放等），小尺度和中尺度分析需要更多的資訊（該地區所有建築的資訊，包括建築高度，建築面積，建築類型，建築外形等），因此將它們排在本研究的最後部份

1.2 國際水岸城市選擇

為了探討澳門的低碳城市的設計標準，尤其針對其位於從填海區的地塊的適宜居住性，本研究選擇了三個主要標準，用以選擇七個國際水岸城市；同時也使用另外三個標準，用以選擇代表性的城區作為較小尺度的研究個案。

本研究用以選擇國際水岸城市的準則包括：一、人口密度；二、適宜居住性；和三、水岸地理環境特性。因為這些選擇標準與澳門填海區的環境特徵與規劃目標有較大關連性。從澳門的高人口密度這一特徵考慮，本研究選擇了澳門、芝加哥、上海和東京等世界上人口密度較大的城市。從適宜居住性考慮，本研究選擇了亞特蘭大和溫哥華這兩個北美著名的宜居城市。從水岸特性考慮，本研究選擇了芝加哥、曼哈頓、上海、東京和溫哥華，因為這些城市同樣在嘗試開發它們的水岸環境，用於將來的城市開發或者再開發。因此，最後挑選的城市案例包括：亞特蘭大、芝加哥、曼哈頓、上海、東京和溫哥華等。

接著從這七個國際水岸城市中，本研究繼續挑選了十一個具有代表性的城區，用作研究城市的特性和城市能耗、碳排放性能的樣本地區。三個準則包括了：城市中心性 (**centrality**)，城市網格類型 (**urban grid pattern**) 和變化度 (**variation**)等，以決定本研究如何選訂具有一定代表性地區的方式，並且影響到本計劃的研究方法。具體來說，這些準則成為下列選擇代表性地區的三個步驟：

首先，依據城市中心性的原則，本研究設定商業中心、宜居城市及水岸空間格局等三種發展定位，做為未來澳門填海區可能發展的參考案例，其中本研究確定城市 **downtown** 的位置，這裏‘**downtown**’指的是城市裏比較靠中心的位置并且人口密度很高的地方，但不一定當地的名字也是‘**downtown**’。比如說，在亞特蘭大和曼哈頓的‘**downtown**’、上海浦東金融區及芝加哥 **Loop** 城區商業與辦公高度集中。本研究也選擇了一些土地使用性質較偏向於「宜居」的城市用地，包括亞特蘭大及曼哈頓的‘**midtown**’以及溫哥華的水岸地區。此外，上述案例多有大型的帶狀水岸空間格局，例如芝加哥的‘**loop**’地區聯繫了以千禧年公園為焦點的帶狀水岸，同樣的案例選取原則也可適用在東京填海區、上海浦東金融區及溫哥華等，都擁有大尺度的帶狀水岸。

第二個步驟則依據城市的網格類型來劃定，這裡面的主要難題在於如何確定城市地區的空間邊界。城市系統的邊界介乎於小尺度的建築系統以及更大尺度的生態區域系統（例如集水區）之間，確定邊界總會產生很多問題，每個城市因為不同的社會經濟與環境條件，形成極為複雜且極具爭議

性的各種不同系統邊界。為了針對所選的全球低碳城市進行參考點分析，本研究因此假設不同城市網格類型將某種程度會影響城市的生態低碳績效，以不同的城市網格類型來決定每一個被選擇的地區，用 1 平方公里的網格狀區域來劃分空間範圍。因此在本研究中，建立密度，空間形態和生態低碳績效之間的關係就十分重要。

第三步是基於城市形態的變異性這一準則。為了明確突顯出不同人口密度和城市形態如何影響能耗和碳排放的性能，研究區域的變異性將使得研究結果更明顯。本研究選擇了城市中建築密度不同的地區，比如說亞特蘭大 Midtown 的 FAR 只有 1.6，曼哈頓 midtown 的 FAR 高達 15。本研究也選擇了各個城市中不同尺度的街區，比如澳門的佑漢區的街區尺度只有 4016 平方米，上海浦東金融中心的街區尺度卻高達 59900 平方米。本研究還選擇了交通系統密集程度不同的區域，上海浦東金融中心的交通連接點只有 13，溫哥華西岸的交通連接點卻有 153，曼哈頓 downtown 的交通連接點高達 172。通過以上的分析和比較，最後確定了如下地區作為研究對象：亞特蘭大 downtown、亞特蘭大 midtown、喬治亞理工學院校區、澳門新口岸區、澳門祐漢區、曼哈頓 downtown、曼哈頓 midtown、溫哥華城市歷史中心區、溫哥華西岸區、上海浦東、東京城區和芝加哥城區，總計選擇了十二個城區。

1.3 階段一：基礎資料分析

亞特蘭大

亞特蘭大是美國第九大城市，美國東南部的金融和交通中心。作為一個相對年輕的城市，亞特蘭大於 19 世紀中葉建立在一條主要鐵路路線的東部站附近。亞特蘭大的分散型的城市結構是十分著名的。它在二十世紀七十年代與別的南部城市一起，經歷了一個爆炸性的發展過程。然而，這個城市開始停止向周圍擴展，轉而向城市的空白區域填充。下文將介紹亞特蘭大的公共系統和亞特蘭大未來二十年的城市規劃。

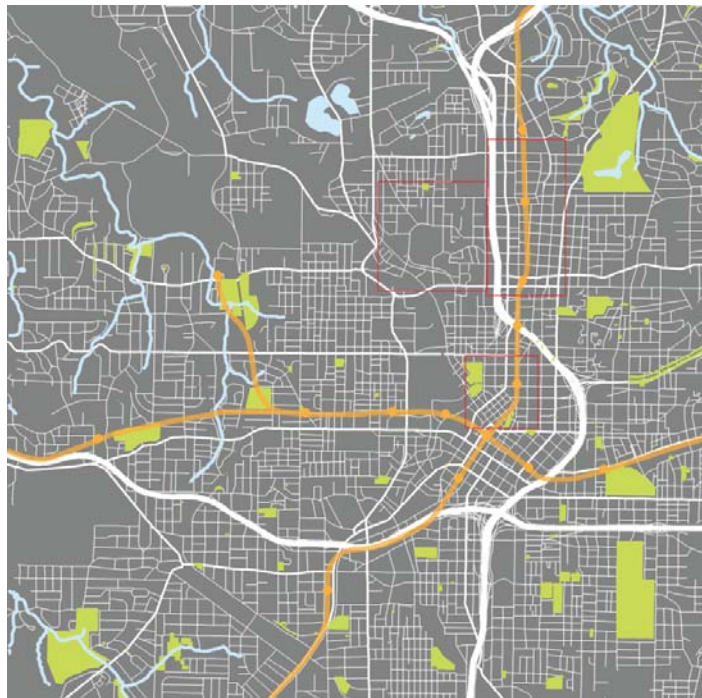


圖 1-1 亞特蘭大 10km × 10km



圖 1-2 亞特蘭大市景

亞特蘭大的公共交通系統，Marta，由 48 英里的鐵路綫和 91 條公共汽車綫路組成。喬治亞州內有兩條高速公路 I-75 和 I-85 貫穿南北，這兩條路綫在亞特蘭大 downtown 的匯合段把 downtown，midtown 和亞特蘭大的其餘地方分開。這一匯合段是全美國高速公路最擁擠的一段之一，每天有 250,000 到 300,000 輛車輛通過。高速公路 I-20 在亞特蘭大的 downtown 位置沿東西方向將亞特蘭大一分為二。整個城市核心和近郊被高速公路 I-285 緊緊包圍(圖 1-3)。



圖 1-3 亞特蘭大高速架構圖

亞特蘭大的 **Beltline** 是一個耗資 28 億美元的開發項目，它將基本確定亞特蘭大今後二十至三十年的發展方向。這一項目包括公園，多用途小道，和一條 22 英里長的包括亞特蘭大核心區域的鐵路。它是亞特蘭大有史以來最複雜的發展規劃，這個規劃一個明確的目的是鼓勵沿著這個由鐵路組成的包圍圈內的經濟增長，包括增加超過 5000 個住宅。因此，可以預計它將帶來亞特蘭大居民數量的增長(1)。

亞特蘭大面臨很多環境變化的挑戰。不多的鐵路和低人口密度意味著亞特蘭大的交通系統主要依賴汽車，從而排放了很多不必要的溫室氣體。引述亞特蘭大區的一個工作委員會，“亞特蘭大區域不滿足聯邦政府的臭氧和細小顆粒物監測標準”。除此之外，亞特蘭大市居民面臨潛在的用水危機，能否從 Lanier 湖中取水依然還是個難題（Lanier 湖是亞特蘭大市六百萬人的主要飲水資源，但由於 Lanier 湖同時也被 Florida 和 Alabama 州使用，這三州發生了用水爭端並訴諸聯邦法院）。亞特蘭大已經有一些行動要減少城市的碳足跡。比如，Virginia Highland 區可能是美國第一個碳中性的區（該區是一個集餐飲和商業用途的社區，在 2008 年 11 月 14 號，該區的管理者 Meddin 公司，與該區的 18 家使用者，和綠色環保組織 Verus Carbon Neutral 共同簽訂了一個協定，通過購買負碳，達到該地區的碳排放中性），亞特蘭大規劃人員已經開始和美國環保署合作以保證空氣質量滿足聯邦標準。

在亞特蘭大市內本研究選擇了三個區域作為研究對象：**midtown**，**downtown** 和喬治亞理工校區。這三個區域分別代表了亞特蘭大最繁華區域的三個不同的方面。

Midtown 是亞特蘭大第二大金融區域和增長最迅速的居住區。它被 **I-75/I-85** 一分為二，包括 4 個 **MARTA** 交通站，區域快速公共交通路綫，和當地的公共交通路綫，這使得它成為亞特蘭大市裏面交通最方便的區域之一。**Midtown** 每年有 6 百萬參觀者，當地的工作人數超過 68,000，居住人數超過 30,000，學生人數超過 20,000（資訊來自 2）。它也是亞特蘭大的文化中心，因為它集中了很多藝術設施和場所，包括亞特蘭大交響樂歌劇院，藝術博物館和 **Fox** 歌劇院。亞特蘭大目前最大的公園 — **Piedmont** 公園也在這裏，并將成為 **Beltline** 項目的一部分。

Downtown 作為亞特蘭大的歷史中心可以追溯到 19 世紀中期。它是亞特蘭大最大的金融區域。最早這裏是作為鐵路終點發展起來的，時至今日這裏仍然是區域交通系統的中心，**MARTA** 的東北路綫和東西路綫在這裏交叉，州內高速 **I-20** 在這裏將亞特蘭大一分為二。儘管 **downtown** 的街區系統的連接性很好，但是大量的鐵路和高速的基礎設施把這裏和周圍的區域明顯分開。**Downtown** 是亞特蘭大的體育中心，這裏有喬治亞圓頂足球體育館和菲力浦競賽中心。同時它還有 **Centennial** 奧林匹克公園，喬治亞世界會議中心，喬治亞水族館。與具有較平衡居住和商業區域的 **Midtown** 不同；**downtown** 沒有顯著的居住區域和居住人口，這使得它在上班時間之後路上行人很少。

喬治亞理工，儘管就在亞特蘭大 **midtown** 和 **downtown** 的旁邊，但是它不是一個城市學校，相反更像是一個傳統的學校，因為它有大片的綠地。校園占地 1.6 平方公里，有超過 20,000 個學生和超過 900 個全職教師。校園沒有一個劃分很細的街區系統，但是有一個很大的給行人和自行車的道路系統。校園東邊被高速公路與 **midtown** 隔開，西邊被 **Tech Parkway** 與 **midtown** 隔開（資訊來自 3）。

行政面積 343 平方公里

城市面積 5084 平方公里

城市人口 5,475,213

芝加哥

芝加哥是美國第三大城市，主要的金融和工業中心。它於 1830 年建立，迅速成長為一個鐵路中樞，連接東部地區和西部地區的商業中心。1871 年的芝加哥大火燒毀了城市的很大一部

分，之後的重建帶來了人口的迅速增長。芝加哥圈用所謂的“EI”（芝加哥的鐵路）包圍了中心商業區的四十個街區。

芝加哥已經努力成為一個可持續發展，對環境友好的城市。最近的一個綠色屋頂行動已經給這個城市帶來了兩百五十萬平方英尺的屋頂花園。然而，它仍然面臨著幾個環境問題，包括被污染的工業 / 商業區和郊區的擴展。大湖和芝加哥河也面臨污染問題。

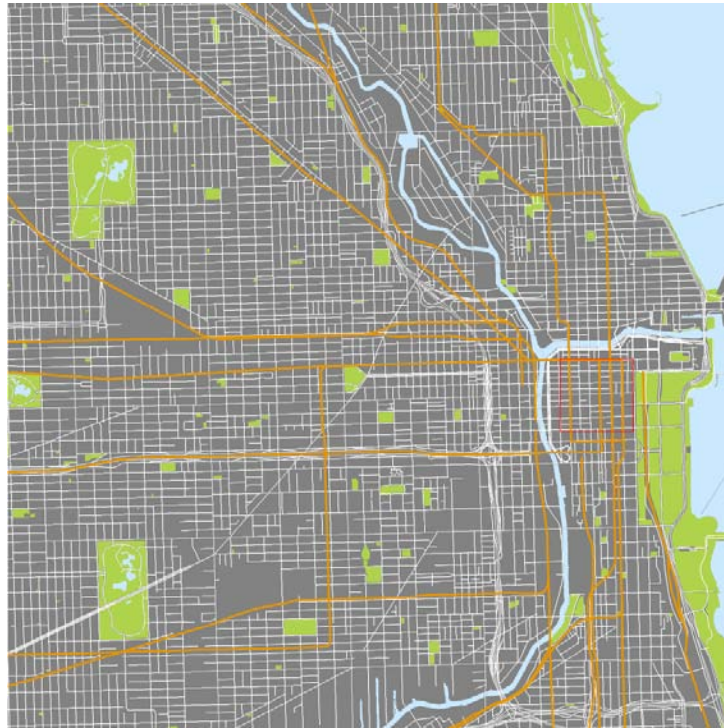


圖 1-4 芝加哥 10km×10km



圖 1-5 芝加哥夜景

行政面積 234 平方公里

城市面積 5498 平方公里

城市人口 9,785,747

澳門

澳門在珠海三角洲，是中國的特別行政區之一。葡萄牙在 16 世紀在澳門設立了殖民地，直到 1999 年才歸還給中國。因此，它保持了相當程度的自治，除了軍事和對外關係之外，它對其餘事務都有自主權。澳門的經濟基於旅遊業和賭博業。

中國快速增長的經濟一定程度上忽略了能源的使用效率，導致了過高的碳排放。大量用煤作原料的工業排放的氣體污染了空氣，導致酸雨和水污染。這些都可能對澳門的空氣產生影響。

澳門佑漢區在澳門的北岸，與中國大陸的邊界上。佑漢區在被稱為 **Nossa Senhora de Fátima parish** 的大區內，這一區是澳門人口密度最大的區。儘管不在澳門的歷史中心內，佑漢區由不同年代的建築組成，包括很多中層和高層居住建築。這些建築的底層大多數是零售鋪。

新口岸在澳門的南岸，在被稱為 **parish of Sé** 的區內。這一區的建築年代相對較新，因為這一區分別在 1991 和 1996 年向海岸擴展了土地。這一區由高層住宅，辦公樓和混合型建築組成。此外，這裏有很多賭場和高檔旅館。它的人口密度是島內最低的。這一區由較直的街道組成，這一點與別的較老的區很不同。



圖 1-6 澳門 10km × 10km



圖 1-7 澳門一景

行政面積 30 平方公里

城市面積 30 平方公里

城市人口 544,600

曼哈頓

曼哈頓是紐約市五個行政區域的核心。荷蘭殖民者在 1624 年在這裏定居，把它稱為新阿姆斯特丹，五十年後把它交給英國人。現時曼哈頓是美國人口密度最大的城區，大約一百七十萬人居住在這 59 平方公里的土地上。紐約市是美國最大的城市，有超過一千九百萬的人口。曼哈頓是美國和全世界的商業、金融和文化樞紐，位於曼哈頓下城的華爾街是幾個主要金融交易所的總部駐地，因此有人說曼哈頓是全球金融之都。

曼哈頓 Midtown 是紐約最大的集中商務區。這一商務區每天來往的人高達 700, 000 人，還不包括那些住在曼哈頓的人。這一區集中了很多摩天大樓，用於很多不同用途。Midtown 的著名建築有：時代廣場，百老匯，洛克菲勒中心，第 5 大街商店等。這些建築用途包括辦公樓，零售，娛樂和居住，這讓它成為這個城市最富有人氣的地方。Midtown 的街道結構佈局是一個非常成功的案例，儘管早在 1811 年就已經規劃好，但是今天看起來依然非常適用於城市的需要。

(4)

在 1811 年 3 月 22 日，1811 規劃已經確立了紐約市的街道結構。1811 規劃把曼哈頓 14 街以北的劃分為 2000 個 200 呎乘以 800 呎的街區，這些街區被 12 條南北大道和 155 條東西街道組成。這些街區的長邊的長度不等，從 610 呎到 922 呎。儘管很多人說這個街區結構太單一了，這個結構在兩個世紀的變化之後卻已經被證明是彈性的，有效的。每個街區最開始都被劃為相同的 25 呎乘以 100 呎的地塊，使得行走和建造都很方便。隨著時間的推移，各個地塊被組合起來使得 25 呎寬的 townhouse 和帝國大廈都可以被建造。中心公園在 1811 規劃裏并不是公園，但是由於它只是由幾個街區組成，很容易在島的中心選幾個街區建造。這些街區的尺寸是很關鍵的因素，一條 200 呎長的街很容易走，這對大道上的商業和零售商店的成功很有幫助。而在街區的另一邊，由於長度較長，商業建築的密度相對較小，因此更多的用作居住建築和較小的商店(5)。

曼哈頓 downtown，以金融中心而著名，在島的南岸，第一批居民是荷蘭人。傳統上這一區的建築主要是辦公樓，最近它的居民人數也開始增加，目前有接近 56,000 人。在平時，這一區的總人口數（包括居民和工作人員）大約 300,000 人 (6)。曼哈頓 downtown 和島上別的地方的街道結構不太一樣，因為這裏早於 1811 年就已經開發了。狹窄的街道和高聳的大樓使得這裏看起來像是峽谷。

儘管曼哈頓市能源效率非常高，但是高的人口密度也帶來了密集的污染。儘管有一些高效的辦公樓，整個島持續增長的能源需求是一個嚴重的問題。由於全球變暖導致的海平面的增長從長期看也會是一個嚴重的問題。

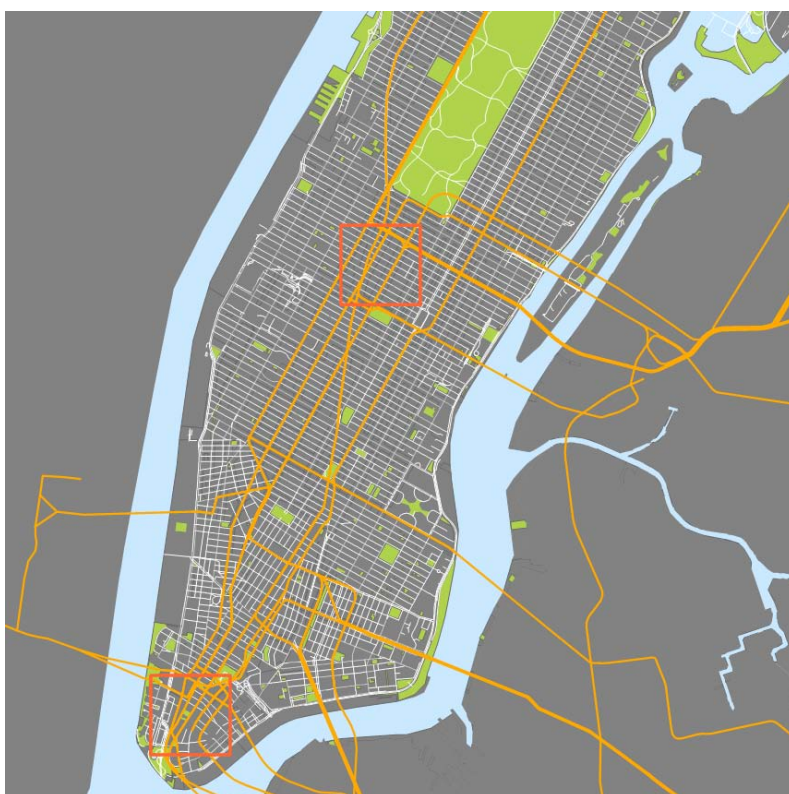


圖 1-8 曼哈頓 10km × 10km



圖 1-9 曼哈頓夜景

行政面積 59 平方公里

城市面積 87.5 平方公里

城市人口 1,629,054

上海

上海坐落在東部海岸的中心和長江的河口，是中國人口最多的城市。它成為一個重要的港口城市，東西方的貿易樞紐由來已久，但它最近經濟上的成功已經使它成為一個全球金融中心。

由於上海在一個主要河道的旁邊并且接近杭州灣，水質量是一個主要問題。過去二十年經濟的快速發展的同時，這一區域水的質量並沒有得到很好的保護，城市裏日漸增長的汽車數目引起越來越嚴重的空氣污染，但是區政府已經注意到這些問題并開始注意提高能源使用效率和保護環境。

浦東在黃浦江的東岸，與浦西隔江相對。浦東面積達 1429 平方公里，有 22 平方公里的耕地，固定人口數達到 4 百萬（資訊來自 7）。它是一個金融特區和中國的金融樞紐。在 1990 年 4 月 18 日，浦東開放成為新的經濟開發區，它有七條火車路線和一個國際機場。浦東的陸家嘴金融區域有上海的證券交易所，東方明珠塔，經貿大廈和上海世界金融中心。

陸家嘴占地 31.78 平方公里，是浦東的金融和商業活動中心。這塊區域 1990 年初由農田開發成為上海的新商務中心，成為中國的現代化進程的代表，中國改革開放的標志。陸家嘴由大街區和大馬路組成，因此與上海其他區域相比不方便步行，街上也很少有零售和餐館。很多建築都只是占著所在的地塊，與街道沒有互動。陸家嘴基本是一個朝九晚五的集中商業區，儘管現在上海也計劃擴展這一區的建築種類。

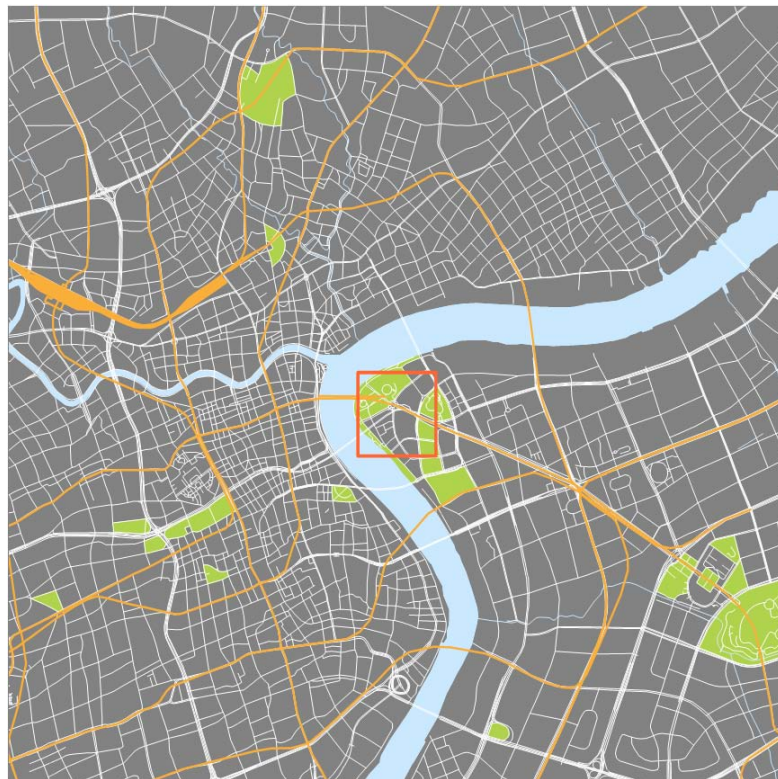


圖 1-10 上海 10km × 10km



圖 1-11 上海一景

行政面積 5,299 平方公里

城市面積 6,341 平方公里

城市人口 19,213,200

東京

東京是世界最大的城市系統的中心，有三千九百萬人口，覆蓋了超過 37,000 平方公里的土地。它和倫敦，紐約是全球主要的金融中心，但是東京是經濟總量最大的城市。東京最開始只是一個叫“Edo”的小漁村，它逐漸發展成為日本的商業和文化中心，至今已經有幾百年。。然而，東京仍然面臨一些環境的挑戰。日漸增長的汽車數量和工業導致了空氣污染，成為對城市居民健康的一種威脅。此外，東京持續增長的能源需求導致了熱島效應，這使得城市區域的溫度比周圍區域顯著的增加。

東京都(Tokyo Metropolis)由 23 個特別區，26 個城市，5 個鎮和 8 個村落組成。更大一級的東京區由東京和附近的三個城市：Saitama, Kanagawa, 和 Chiba 組成，這裏居住了整個日本 28%的人口(8)。日本的國家首都區由東京和附近的 7 個城市組成。東京的 23 個特別區覆蓋了 622 平方公里的土地，居住了 880 萬的居民(9)。這裏是東京的商業和辦公中心，公共交通非常發達。然而，日益增長的辦公和商業用途導致了居住用地的減少，此外，適宜居住的近水帶和綠色區域正在消失。

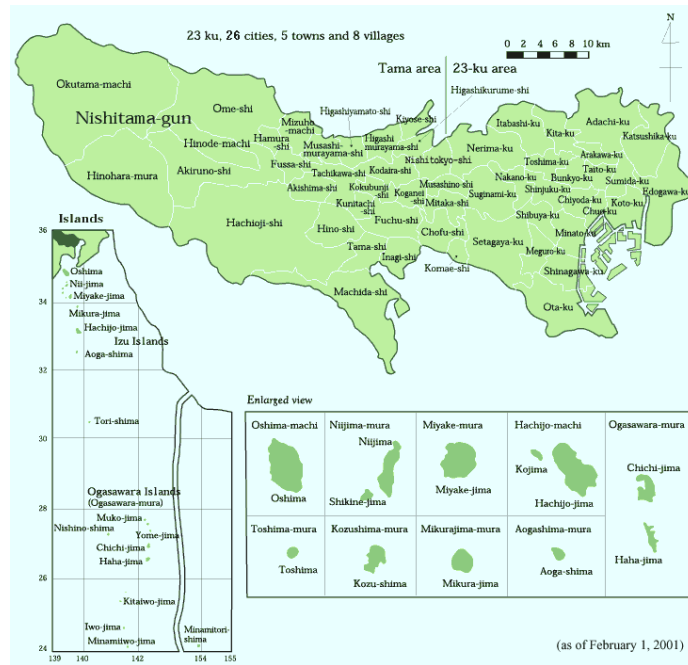


圖 1-12 東京都地圖（10）



圖 1-13 東京 10km × 10km



圖 1-14 東京夜景

本報告所研究的區域叫 **Kachidoki**，坐落在秋葉區的 **Tsukishima** 島上，秋葉區是東京的核心區。這個島是一塊開墾的土地，又叫月島，在 1892 年形成，有兩條城市鐵路經過。這塊區域緊靠河道和海岸，生活中與水的接觸很緊密。這塊區域綜合了傳統的建築樣式和更現代的高層建築 (11)。



圖 1-15 Kachidoki (12)

東京 Metropolis

城市面積 2,187 平方公里

城市人口 13,161,751

東京 Megalopolis Region

城市面積 13,187 平方公里

城市人口 13,161,751

溫哥華

溫哥華是加拿大第三大的城市，是加拿大最繁忙的港口。有一個很獨特的地方是 **downtown** 地區沒有任何高速公路經過。溫哥華最早被發展起來是在 1886 年 4 月，作為加拿大太平洋鐵路的終點之一 (13,14)。

儘管被認為是“最適宜居住的城市”(13)，溫哥華是北美第四大人口密集的城市。它在加拿大的

經濟中佔有舉足輕重的地位，她擁有生物科技，軟件，電影工業。它日益興旺的旅遊業和港口貿易也對城市的經濟增長有影響。綠色工業也是在這個城市裏日益增長的顯著一部分。這裏一萬年之前就有人居住了，但直到 1858 年的淘金熱和伐木業的興起才給溫哥華帶來了第一批現代居民。

溫哥華的目標是到 2020 年成為全球最綠色的城市(13)。它已經因為它在可持續性和方便性方面的創新而著名。長期目標包括改善交通系統，減少水消耗量和溫室氣體排放。

本研究要研究的兩個區域分別是溫哥華的歷史中心和西岸。西岸是溫哥華人口最密集的地區之一，與 **downtown**，中心商務區和 **Stanley** 公園在同一個半島上。在二十世紀中葉之前，這裏都還沒有被完全開發。但是之後，這裏的森林開始被清理，高檔住宅開始出現。當汽車可以同行的道路進入這裏以後，公寓開始被建造起來。在 1962 和 1975 年之間，超過 220 棟高層住宅建築被建造起來。西岸有 20 平方公里的土地，人口數在 2006 年達到 44,560。也在 2006 年，這裏有總共 28,955 棟私有住宅，超過四分之三是 5 層以上的公寓。在所有的上班族中，只有超過 30%開車，其餘的都使用公共交通，走路或者騎自行車（15）。

歷史中心在溫哥華 downtown。Downtown 是溫哥華最大的購物區，同時也是中心辦公區。溫哥華剛開始建立的定居點叫 Gastown，也在 downtown 裏面。在 1960 年有一個歷史中心的城市更新提議，和一個通過中國城建造高速公路的提議。結果公民對這兩個提議都投了否決票，在 1971 年，這兩個區域被指定為歷史區域。在 1986 年這裏有國際展覽會 EXPO86，加拿大 Place 貿易和會議中心就是沿著展覽館的 Burrard 入口建造起來的。Downtown 已經在購物和商務區周圍開發了一系列的居住區。Downtown 占地 3.75 平方公里。在 2006 年人口統計是 43,415 人，相比之下 1996 年是 17,405 人。Downtown 有 25,020 個私有住宅，90% 是 5 層以上的公寓。在所有的上班族中，大多數人坐公共交通，走路或者騎自行車。只有超過 40% 的人開汽車（16）。

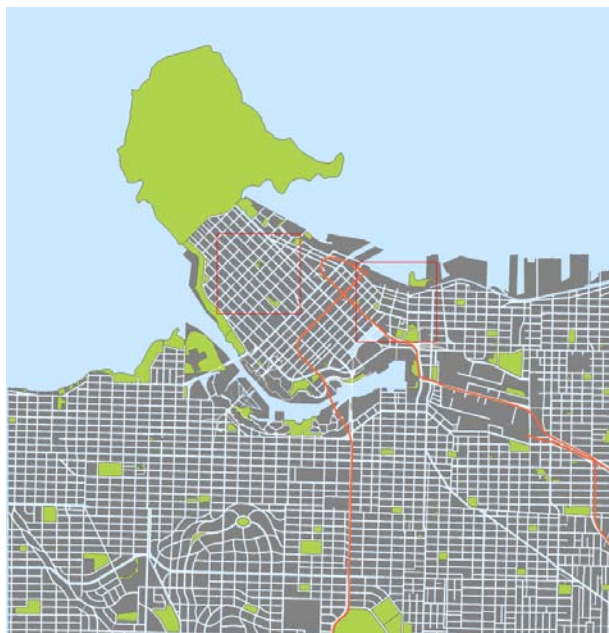


圖 1-16 溫哥華 10km × 10km



圖 1-17 溫哥華一景

溫哥華市

城市面積 115 平方公里

城市人口 578, 000

溫哥華 Metro City

城市面積 2,880 平方公里

城市人口 2,116,581

1.4 階段二： 大尺度層面分析

七個國際水岸城市的大尺度數據被整理成表，如下圖（圖 1-18）所示。其中水消耗量和碳排放量都是全年消耗量（碳消耗量數據來自 World Bank, 13）。

	land area (sq. km)	street grid	population density	water consumption	co2 emissions
atlanta	land area / 343 (urban area / 5084)		 (1,500 persons/km ²)	 { 151,984 litres/capita }	 { 25 tons/capita }
chicago	land area / 234 (urban area / 5498)		 (4,400 persons/km ²)	 { 120,195 litres/capita }	 { 12 tons/capita }
macau	land area / 30 (urban area / 30)		 (18,500 persons/km ²)	 { 131,765 litres/capita }	 { 3 tons/capita }
manhattan	land area / 59 (urban area / 786)		 (27,000 persons/km ²)	 { 173,796 litres/capita }	 { 11 tons/capita }
shanghai	land area / 5299 (urban area / 6341)		 (3,100 persons/km ²)	 { 60,225 litres/capita }	 { 12 tons/capita }
tokyo	land area / 844 (urban area / 2187)		 (5,800 persons/km ²)	 { 131,400 litres/capita }	 { 5 tons/capita }
vancouver	land area / 115 (urban area / 1111)		 (5,300 persons/km ²)	 { 130,305 litres/capita }	 { 5 tons/capita }

圖 1-18 國際水岸城市的統計資料

經過分析發現，土地面積，人口密度和單位人口 CO₂ 排放率有很高的互相影響關係。澳門的土地面積最小，人口密度第二高，卻有最低的單位人口 CO₂ 排放率。類似的還有曼哈頓，曼哈頓有第二小的土地面積，最高的人口密度，卻有比較低的單位人口 CO₂ 排放率。相反，亞特蘭大有第三大的土地面積，最低的人口密度，卻有最高的單位人口 CO₂ 排放率。

然而，這一關係卻不表示土地面積越大，必然單位人口 CO₂ 排放率就越高。東京和溫哥華都有很大的土地面積和中等的人口密度，但是它們的單位人口 CO₂ 排放率卻是第二低。這說明儘管人口密度高可能對於減少單位人口 CO₂ 排放率有促進作用，但是最終的單位人口 CO₂ 排放率卻還受到別的因素的影響，比如居民的生活習慣，當地的能源利用情況等。

圖 1-19 更直接地比較了人口密度和單位人口 CO₂ 排放率之間的關係。由於本研究在大尺度層面上分析，因此每個點代表這個城市整體。人口密度和 CO₂ 排放率之間的關係基本上呈負相關。人口密度高帶來的好處包括（1）建築空間以及建築能源的利用率提高，從而導致單位人口的建築能耗下降（2）公共交通系統更趨便利，人們也更傾向於使用公共交通系統（3）城市的基礎實施以及基礎設施消耗能源的利用率提高。這些好處說明高人口密度城市降低了單位人口的 CO₂ 排放。

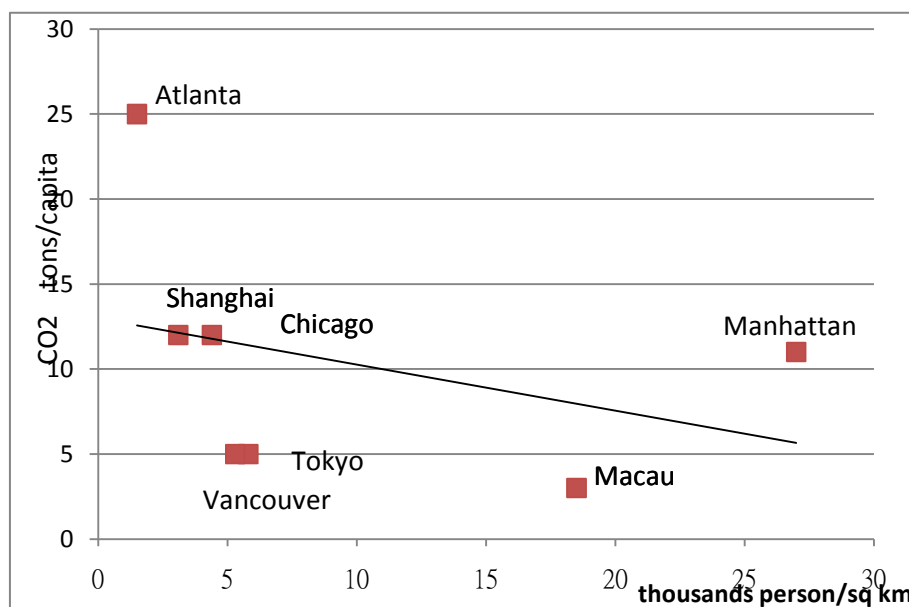


圖 1-19 人口密度－CO₂ 排放率 資料分析

圖 1-20 更直觀的比較了各城市人口密度的關係。我們發現人口密度從低到高的城市依次為亞特蘭大，上海，芝加哥，溫哥華，東京，澳門和曼哈頓。其中上海的資料由於只是註冊人口數，與實際值可能偏差較大。此外我們可以把它們分成四個組，澳門和曼哈頓屬於人口密度最大的區域，東京和溫哥華其次，芝加哥和上海屬於人口密度較低的城市，亞特蘭大屬於人口密度最低的城市。這部分反映了我們選擇城市的成功，基本上每組城市都包括一個東方城市和一個西方城市。

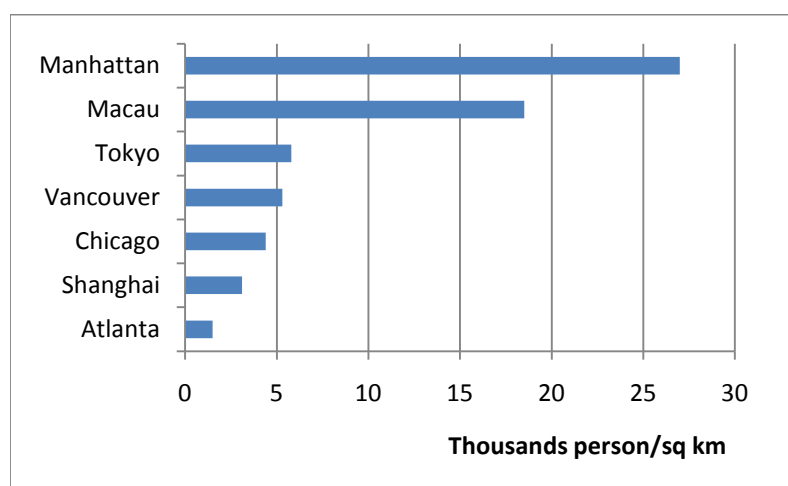


圖 1-20 人口密度比較

圖 1-21 更直觀的比較了各城市單位人口 CO₂ 排放率的關係。我們發現單位人口碳排放率和人口密度有很直接的影響，同在美國，亞特蘭大和芝加哥的人口密度低於曼哈頓，單位人口碳排放率卻高於曼哈頓，拿文化習慣和地理位置相近的澳門和東京相比，東京的人口密度低於澳門，人口碳排放率卻高於澳門。橫向比較，澳門和曼哈頓都是人口密度最大的地區，澳門的單位人口碳排放率低於曼哈頓，東京和溫哥華的人口密度相近，東京和溫哥華的單位人口碳排放率也相近，芝加哥的人口密度略高於上海，芝加哥的單位人口碳排放率也略高於上海，亞特蘭大的人口密度最低，亞特蘭大的單位人口碳排放率卻最高。

以上比較進一步深化了我們對人口密度，產業組成，文化習慣和單位人口碳排放率之間的認識。亞特蘭大和曼哈頓的產業組成類似，文化習慣類似，人口密度很低的亞特蘭大的單位人口碳排放率比曼哈頓多很多。芝加哥與亞特蘭大相比，工業化程度更高一些，但是人口密度高，單位人口的碳排放率因而較低。東京和溫哥華的產業組成類似，溫哥華的工業化程度甚至高於東京，但由於東京的文化習慣比較節能，再加上人口密度類似，這兩個城市的單位人口碳排放率也類似。總的來說，東方的文化習慣比較節能，工業化程度高的城市碳排放率較高，人口密度高則有助於降低單位人口碳排放率。

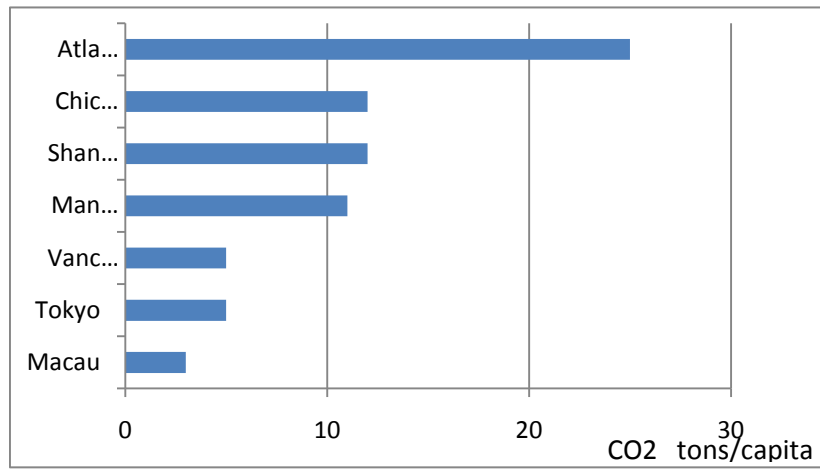


圖 1-21 單位人口 CO2 排放率比較

1.5 階段三： 中尺度層面資訊收集和分析

中尺度層面資訊收集

本研究從七個國際水岸城市中進一步選擇了十個 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 的地區，作為中尺度層面的研究對象。在某些城市裏，本研究選擇了不止一個地區進行研究。對於每一個研究對象，本研究首先比較了城市結構，然後對城市密度，土地使用情況，空間配置，交通便利性，綠色區域和建築形態逐個進行資訊的收集。

本研究將所收集的資訊繪製成圖，下面把它們逐一分析。

圖 1-22 和圖 1-23 顯示的是街區結構，黑色代表街區，白色代表除街區以外的其他區域，包括街道、水域等（藍色）。為方便比較，所有的區域將使用相同的比例，各個區域的規模和結構通過圖 1-22 和圖 1-23 就能夠很明顯地看出。芝加哥，曼哈頓 Midtown，東京 Kachidoki 和溫哥華西岸有很直的街區結構，亞特蘭大 Midtown，downtown 和溫哥華歷史中心也是由筆直的網格構成，儘管它們各自都含有不同朝向的網格。還可以看出亞特蘭大 Midtown 的街區規模除了比上海浦東和喬治亞理工校園小，比其他的街區規模大。曼哈頓 downtown 也是由網格構成的，儘管它很不規律，它的街區規模是所有街區裏面最小的，然而還是可以包括很多高層建築，並形成一個很強的中心商務區。上海的浦東區和別的地方都很不一樣，它完全是由超大街區和大馬路組成。喬治亞理工校園也是由大街區夾雜一些小一些的街區組成，但它是一個校園環境，而不是中心商務區或者其他城市區域。因此，由於它作為一個大學校園的特殊性，街區結構對於它的職能發揮的效用與其餘 9 個城市區域很不同。每一個區的平均規模在圖 1-32 中顯示。

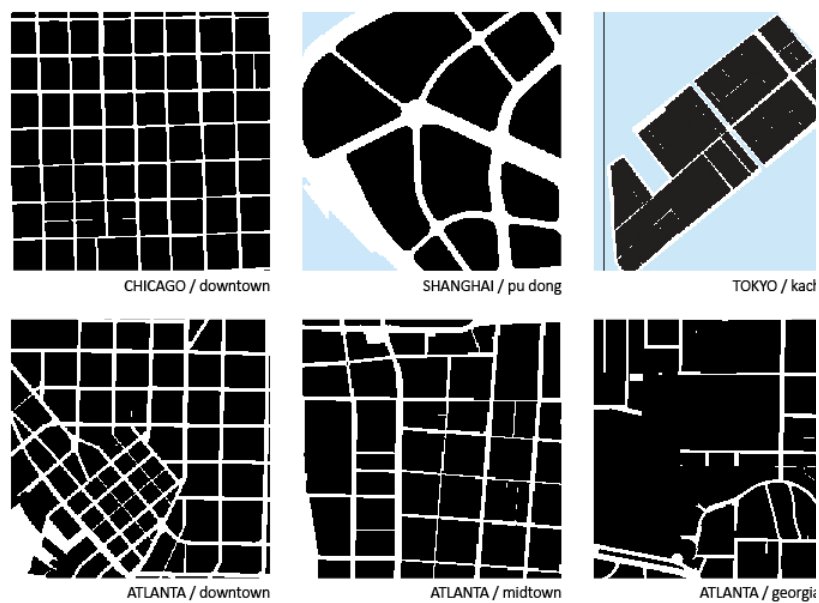


圖 1-22 芝加哥，上海浦東，東京 Kachidoki，亞特蘭大(downtown=市中心)，亞特蘭大(Midtown=中城區)，喬治亞理工校區



圖 1-23 曼哈頓(Downtown=市中心)，曼哈頓(Midtown=中城區)，溫哥華歷史中心，溫哥華西岸區

圖 1-24 和圖 1-25 顯示的是地面情況。在地面情況圖中，灰色代表街區結構，黑色代表建造區域，白色代表非街區區域。綠色代表指定的停車區域。這些圖表顯示每一個被選擇的地區有多少被建築覆蓋，因此直觀地表示了每一個區的建築比例。上海浦東和亞特蘭大 Midtown，喬治亞理工校園有很大的相似性，同樣街區結構很大，建造區域比例較低，非建築用途區域比例較高。與其他中心商務區比較，上海浦東的建築更分散，土地的使用率不是很高。這一可以從下面的建築密度圖中可以看出。在每一個區域，除了喬治亞理工校園和上海浦東，建築區域都和街道離得很近。

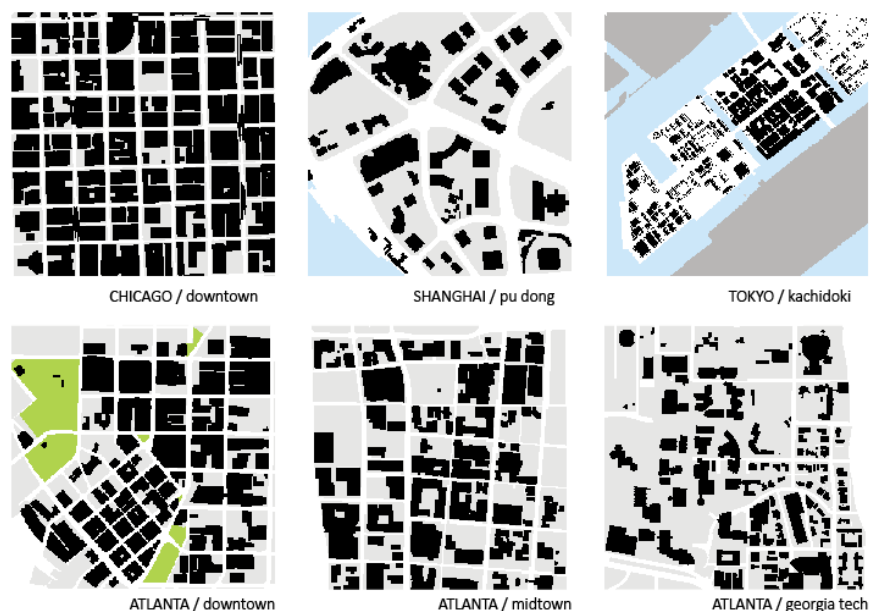


圖 1-24 芝加哥，上海，東京，亞特蘭大城區，亞特蘭大外城區，喬治亞理工校園



圖 1-25 曼哈頓城區，曼哈頓外城區，溫哥華歷史中心，溫哥華西岸地

圖 1-26 和圖 1-27 顯示的是街道的肌理。紅綫代表了主要街道，黃綫代表了快速交通的主要路線。黃圈代表了快速交通路線的主要站口。更擁擠一些的地區，比如曼哈頓，溫哥華歷史中心，和芝加哥，都有很發達的快速交通工具。亞特蘭大 **downtown** 和 **midtown**，上海浦東 和東京 Kachidoki 也都有快速交通工具，但是站臺點的密度比曼哈頓和芝加哥這些更老歷史更悠久的城市低得多。

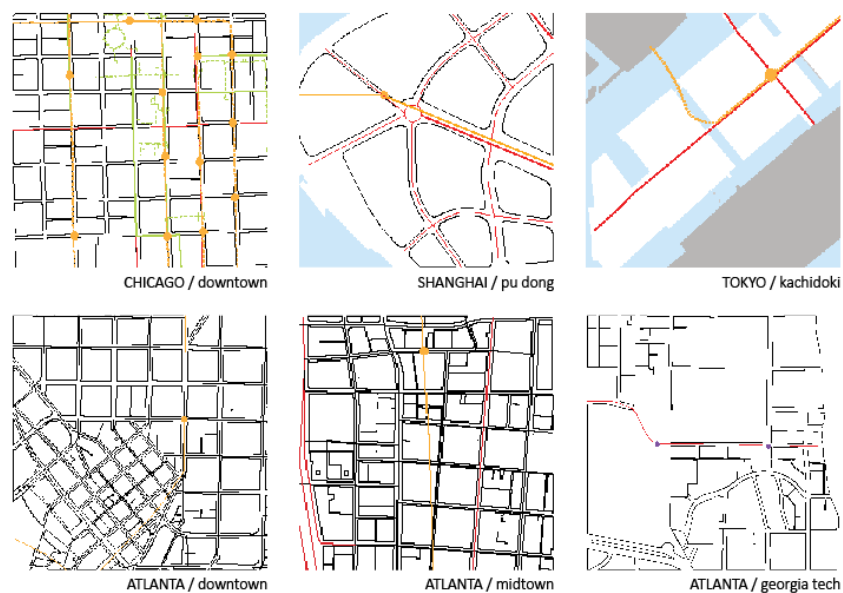


圖 1-26 芝加哥，上海，東京，亞特蘭大城區，亞特蘭大外城區，喬治亞理工校園道路聯

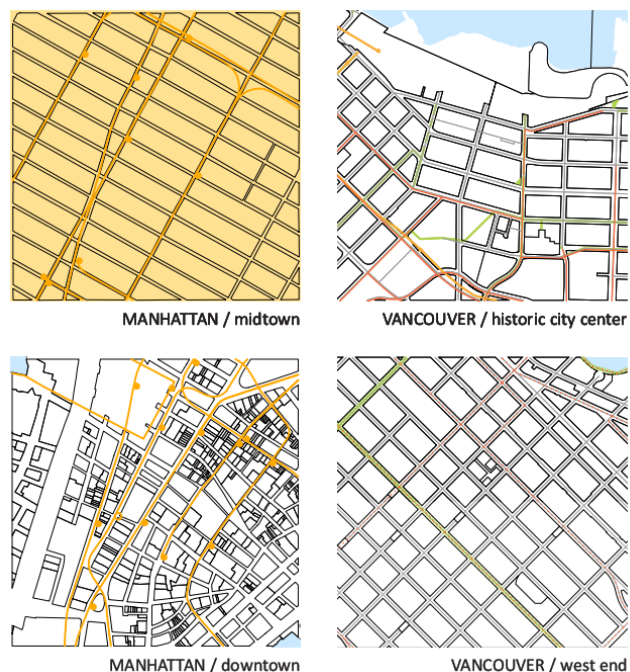


圖 1-27 曼哈頓城區，曼哈頓外城區，溫哥華歷史中心，溫哥華西岸道路聯

圖 1-28 和圖 1-29 顯示了建築密度。建築密度圖顯示的是地塊的 FAR，這一數據顯示了在每一個區的土地使用的程度，從深藍（低密度）到深綠（高密度）。將曼哈頓 Midtown/Downtown 與上海浦東比較，就可以發現曼哈頓的土地使用密度比上海高得多，儘管三個地方的建築高度都很高。另一方面，儘管溫哥華(historic center/westend)和東京 Kochidoki 的建築單層面積較小，高度也較低，它們的 FAR 值卻可以達到與上海浦東和亞特蘭大 midtown 相近的程

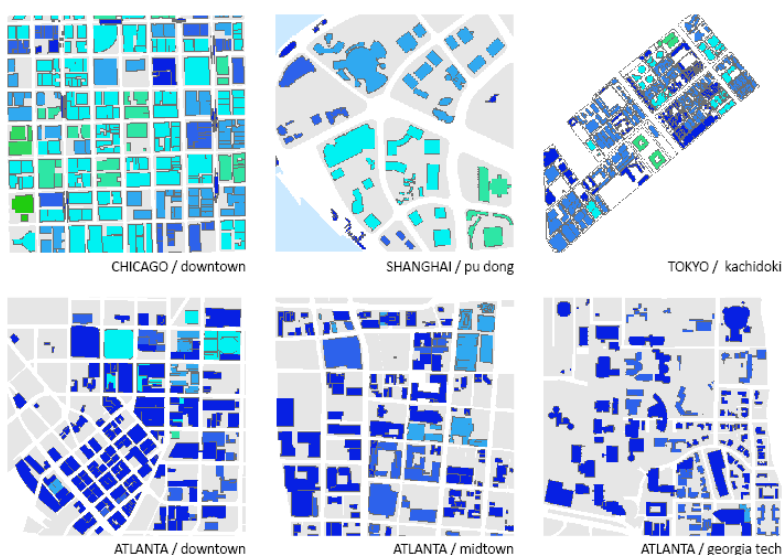


圖 1-28 芝加哥，上海，東京，亞特蘭大城區，亞特蘭大外城區，喬治亞理工校園
 （建築密度 0-2.5 far 2.5-5 far 5-10 far 10-20 far 20+ far）

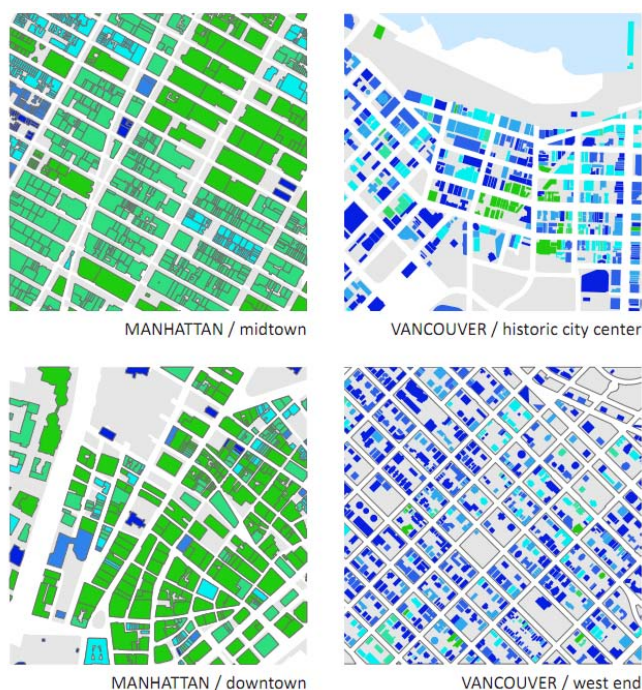


圖 1-29 曼哈頓城區，曼哈頓外城區，溫哥華歷史中心，溫哥華西岸建築密度
 （建築密度 0-2.5 far 2.5-5 far 5-10 far 10-20 far 20+ far）

圖 1-30 和圖 1-31 顯示了土地使用情況。土地使用圖表顯示了每個 1km 乘以 1km 地區的主要建築用途。曼哈頓 Midtown/Downtown，芝加哥，亞特蘭大 downtown 和上海浦東的研究區域主要是辦公樓和商業建築，正如傳統的中心商業區一樣。亞特蘭大 midtown 和溫哥華歷史中心有辦公樓和商業建築，但同時還有混合性建築和居住建築。溫哥華西岸和東京 Kachidoki 主要都是居住建築，但同時還有一些混合型建築和辦公樓。

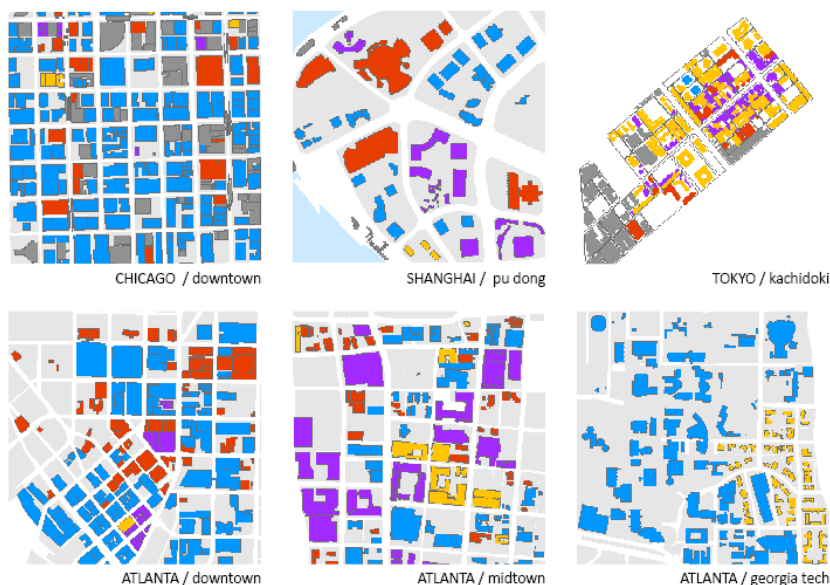


圖 1-30 芝加哥，上海，東京，亞特蘭大城區，亞特蘭大外城區，喬治亞理工校園土地使用情況（other commercial office residential mixed use）

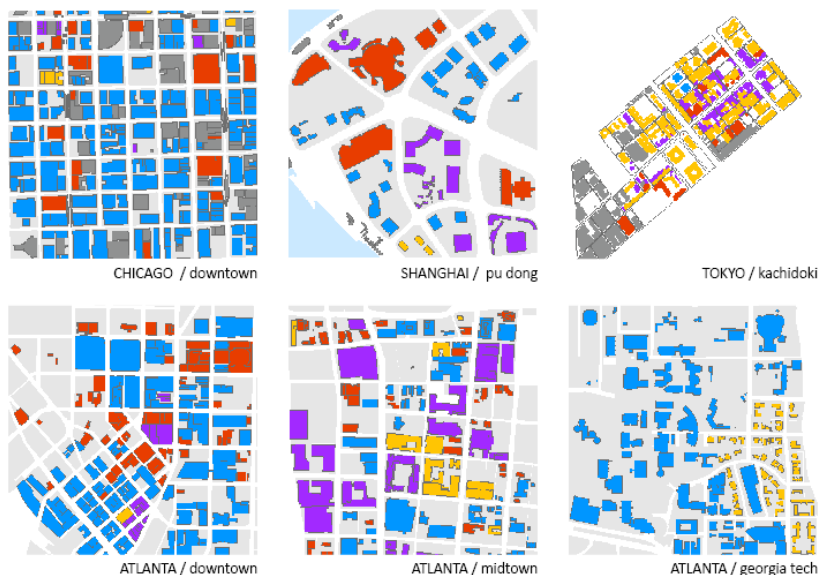


圖 1-31 曼哈頓城區，曼哈頓外城區，溫哥華歷史中心，溫哥華西岸土地使用情況（other commercial office residential mixed use）

中尺度層面資訊分析

對於每一個研究對象，本研究都收集了關於城市結構的重要資訊。本研究將這十個地區的差異性整理成下圖（圖 1-32 所示），它包括街道尺寸，總計 FAR，相互連接密度等。這些屬性同時也是本研究關心的對地區的碳排放情況有影響的重要性質。正如前面所論述的一樣，圖 15 進一步說明瞭所選擇的各個地區的差異性和相似性。亞特蘭大喬治亞理工校園是所研究區域中獨一無二的大學校園，它的街區規模/面積非常大，但是整體建築密度卻很低，有大片的綠色區域或者風景帶，而且公共交通系統比較發達，相比之下上海浦東同樣有很大的街區規模，但是整體建築密度大得多，FAR 是喬治亞理工校園的 5.9 倍，同時公共交通系統發展很慢。另一方面，街區規模和 FAR 並沒有必然的關係。同樣是中心商務區，曼哈頓 downtown 的街區尺寸只有上海浦東的六分之一，但是 FAR 卻接近上海浦東的兩倍。溫哥華西岸的街區尺寸只有上海浦東的八分之一，FAR 也接近上海浦東的兩倍。

本研究發現 FAR 與（1）大的城市規劃（2）地區的區域特性關係更密切，但是與地區的用途規劃關係不大。亞特蘭大是比較分散性的城市結構，曼哈頓是集中性的城市結構，無論是哪種用途的建築，亞特蘭大地區的 FAR 都要比曼哈頓選擇區域的 FAR 小的多。另一方面，日本東京由於接近地震帶，所有的居住建築的高度都有明確限制。因此 FAR 比其他地區的 FAR 也小很多。從用途規劃上看，亞特蘭大的 downtown 比 midtown 的辦公樓要多，FAR 也高，似乎 FAR 與建築類型有關，但是看曼哈頓 downtown 的辦公樓同樣比曼哈頓 midtown 多，但是 FAR 卻要低。

聯繫到單位人口的碳排放量（圖 1-21），溫哥華，曼哈頓和東京的公共交通系統要比其餘地區發達的多，它們的單位人口碳排放量卻小很多，亞特蘭大的公共交通系統不發達，它的單位人口碳排放量也相對較大，因此本研究得出結論：公共交通系統對於單位人口碳排放量影響很大。

	Average block size(sq. m)	Gross F.A.R.	Total surface area/ total building volume	Number of intersections
Atlanta/ gatech campus	791,500	0.5	8%	51
Atlanta/ midtown	8,300	1.6	10%	27
Atlanta/ downtown	6,000	3.7	12%	82
Chicago /downtown	9,500	13	10%	61
Manhattan/ midtown	10,175	15	11%	68
Manhattan/ downtown	11,979	11.4	12%	172
Shanghai/ Pudong	59,900	6.5	8%	13
Tokyo / Kachidoki	8,000	1.9	17%	152
Vancouver/ Historic center	11,443	5.9	21%	147
Vancouver/ West End	8,800	10.1	21%	153

圖 1-32 中尺度層面資料分析

圖 1-33 更直觀地比較了街區的相互連接和總建築面積 / 體積比。圖 1-33 左圖反映了各城市街道交叉密集性程度，基本上這一資料直接反映了該地區公共交通系統的發達程度。因為街道交叉越密集，公共交通可以到達的地方就越多，人們也就更傾向於使用公共交通系統。因此，城市街道交叉的密集性程度與城市交通所消耗的能耗呈負相關。我們發現，曼哈頓 **midtown**，東京 **Kachidoki**，溫哥華歷史區和溫哥華西岸的交通密集性程度很高，這與它們的公共交通系統的發達程度是一致的。亞特蘭大，上海和芝加哥的交通密集性程度略低，除了上海外，亞特蘭大和芝加哥的公共交通系統的發達程度也是相對較差。我們將在報告的第三部分更加量化地討論街區的密集性和 CO2 排放之間的關係。

圖 1-33 右部反映了研究區域的總建築面積與總建築體積的比值，該比值與建築的高度和密度有關。一個區域的總建築面積與總建築體積比值越大，該區域的建築密度就越大，建築高度就越低。我們發現溫哥華研究區域和東京研究區域的建築整體高度最低，上海，曼哈頓，芝加哥研究區域的建築整體高度最高，亞特蘭大的建築整體高度居中。建築的高度決定了建築的體型，這點將在下面碳排放與建築體型的分析中再次提到。

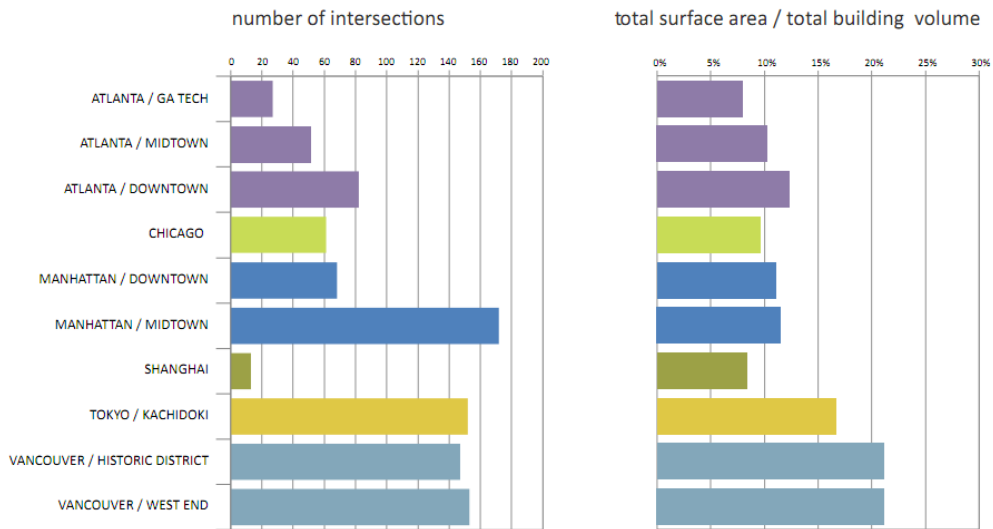


圖 1-33 地區的交叉性和面積/體積比比較

圖 1-34 更直觀地比較了街區規模和總 FAR。街區的規模對於城市的碳排放有著間接的影響。街區規模影響了建築的高度，尺寸和位置，從而間接影響了建築的碳排放。街區規模對於建築碳排放的影響將在下文的分析中提到。總 FAR 直接決定這區域建築的人口密度，加上建築的面積/體積比值，這兩個因素決定了該地區的建築密度和建築高度。我們發現曼哈頓 downtown 和 midtown 以及芝加哥是建築高度最高的地區，溫哥華西岸和歷史區是研究區域裡面建築密度最大，而平均建築高度較低的區域。這兩個因素對建築碳排的影響將在下文碳排放的計算分析中一併指出。

固定人口

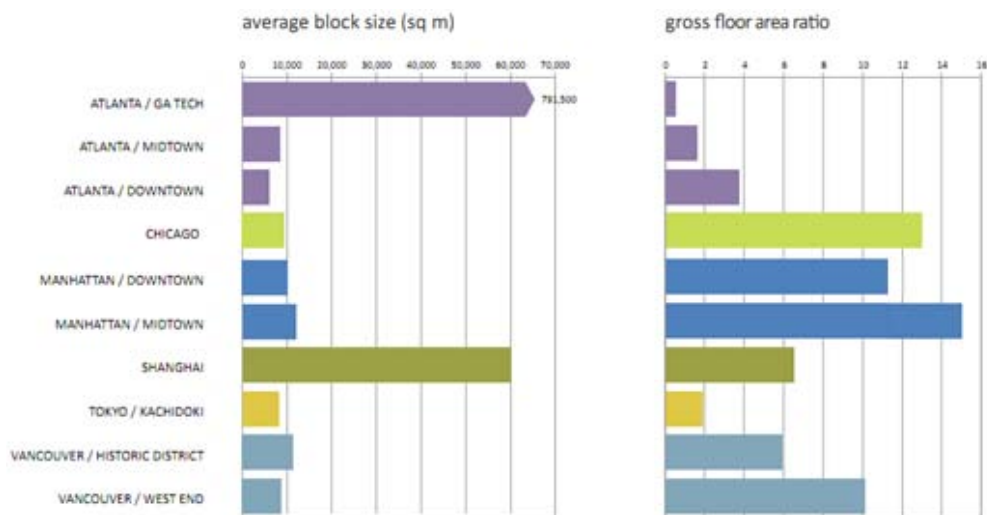


圖 1-34 地區的街區規模和總 FAR 比較

在收集了各個地區的資訊之後，本研究開始研究城市結構和碳足跡 / 能源消耗之間的關係。對於每一個 1km × 1km 的地區，本研究通過土地使用情況和建築形態使用由下向上的辦法分析了能源消耗和碳排放情況，依據美國能源部發布的建築類型能源消耗密度數據(圖 1-35, from 18)。這一辦法首先假設土地的碳排放情況僅取決於土地使用情況（或者建築類型）。這一數據與每一個建築的總面積相乘得到每個建築的碳排放情況， 將它們累積就得到地區整體碳排放量。一個重要的假設是所有建築的層高都是 3.5 米。這個假設來自於美國城市環境委員會用於給不確定用途的建築的數據(19)。

Table 1. Carbon Emission Factors

Principal Building Activity	CO2 metric tons per 1,000 square
Residential	7.13
Commercial	10.91
Office	13.64
Mixed Use	10.91
Source: U.S. Department of Energy, 2005; Drummond, 2009	

圖 1-35 基於建築類型的碳排放計算方法

在中尺度層面，本研究使用 ArcGIS 的空間分析工具分析各個建築的可接受到的太陽能量。要使用這一工具，首先需要有包括地形和建築高度的數字高度模型（DEM），本研究在分析中使用一年作為分析時間，所得到結果用瓦特小時 / 平米作單位。在計算每個建築可以得到的太陽輻射量時，本研究假設建築的所有屋頂面積都可以用來收集太陽能。因此，本研究將單位面積年平均可以得到的太陽能輻射值乘以屋頂面積就得到每個建築每年可以得到的太陽輻射值。這只是一個假設，如果實際可採用面積小於這個面積，只需要再乘以一個參數就可以。

在本研究裏，本研究用 18%作為原始太陽能到電能的轉換率，這個數值是目前市場上可以得到的光伏太陽能轉換效率的最高值。ArcGIS 的分析工具裏已經考慮進去了太陽的角度以及當地的經緯度。從電能到碳排放量的轉換是採用當地的產生 1kwh 的電能所排放的二氧化碳量，採用 kgCO2/kwh 為單位，這一數值的取值如下：美國 0.535，加拿大 0.181，香港 0.757，中國大陸 0.745，日本 0.736 (20)。最後將地區的碳排放量減去太陽能所抵消的碳當量就得到淨碳排放量。

綜上所述，地區的碳排放量的計算是基於土地使用類型的碳排放計算方法，然後根據所有建築的使用類型資訊，由下往上疊加而得。太陽能可接受量是基於 ArcGIS 的太陽能分析工具直接在 ArcGIS 的平臺裡計算而得。淨碳排放量是這兩者的差。基於在對每個地區的碳排放量，太陽能可接受量，淨碳排放量進行了計算，並得出結果之後，本研究將結果與前面所收集的資訊進行了相關性分析，從分析中找出對地區的碳排放量和碳中性潛能影響最大的參數。

下面的內容顯示了本研究的分析結果。

圖 1-36 是分析所用的顏色標準。太陽能負碳排放量從淺綠(0-100 噸)變化到深綠(5000-15000 噸)。可接受的太陽能輻射量從藍(0-5000kwh)變化到紅(>5000000kwh)。碳排放量從綠(<0 噸)變化到深灰(90000-100000 噸)。太陽能輻射從藍(11781Wh/m2)變化到紅(1.6E6 Wh/m2)。

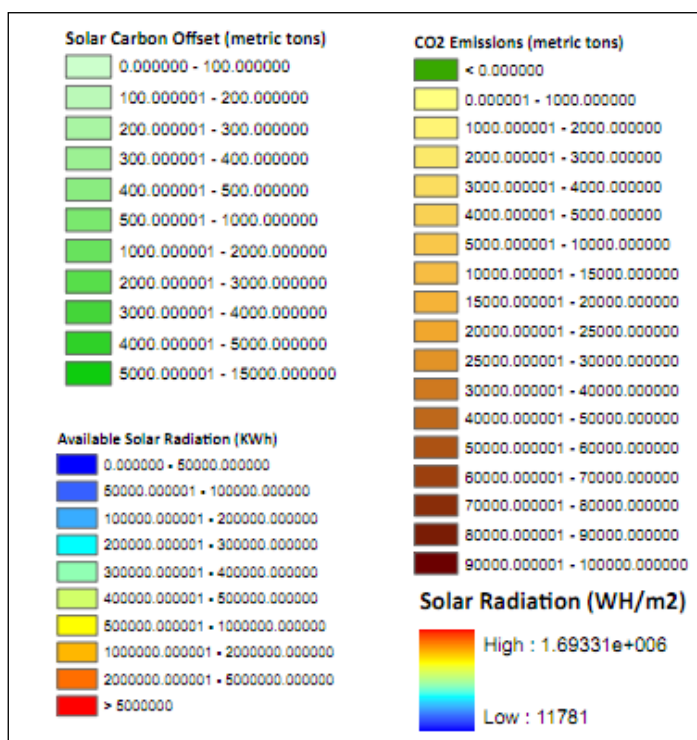


圖 1-36 分析所用的顏色標準

圖 1-37 和 1-38 是碳排放密度圖。曼哈頓 downtown 和 midtown，和芝加哥研究區域的建築的碳排放密度顯然較其他研究地區高。這幾個區域有一個共同點，都是中心商務區集中的地方。亞特蘭大 downtown 雖然也是中心商務區，但是它的 FAR 較低 (From Fig.34)。而別的區用途都不一樣，比如學校（喬治亞理工校園），歷史中心（溫哥華中心），住宅（溫哥華西岸）。因此本研究可以說，如果 FAR 相同的話，單體建築的碳排放量主要取決於建築類型，而如果建築類型相似的話，FAR 越高，單位面積的土地上建築排放的碳就越多。



圖 1-37 芝加哥，上海，東京，亞特蘭大城區，亞特蘭大外城區，喬治亞理工碳排放計算結果

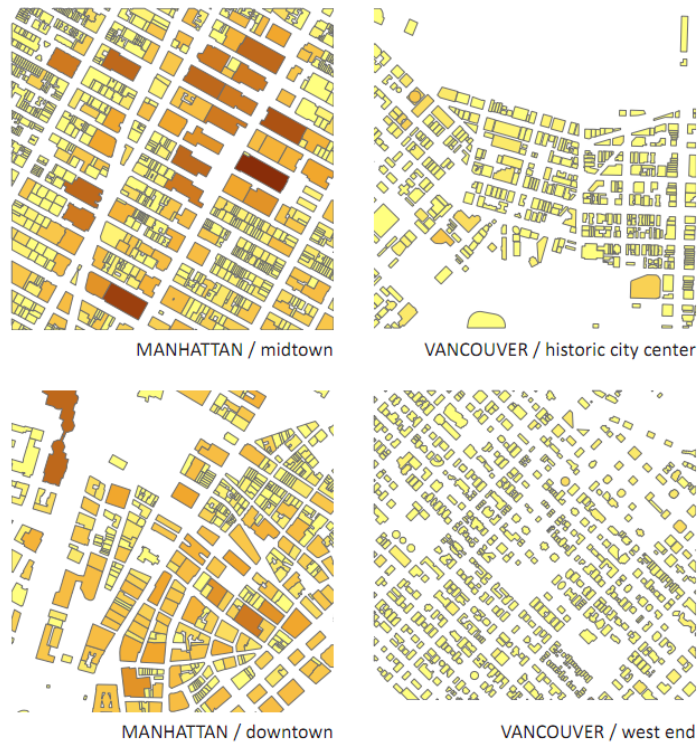


圖 1-38 曼哈頓城區，曼哈頓外城區，溫哥華歷史中心，溫哥華碳排放計算結果

圖 1-39 和 1-40 是太陽能可接受能力分佈圖。由於該圖針對的是建築，因此單層面積越大的建築所得到的太陽輻射就越多。這從每個區的圖表中都可以看出，面積越大，建築所得到的太陽輻射就越多，面積越小，建築得到的太陽輻射就越少。曼哈頓，芝加哥研究區域的大面積建築較多，因此紅色區域相對較多；東京，溫哥華多是單層面積小的民用住宅，因此多是藍色區域。當然，面積相同的建築太陽輻射仍然可能不一樣，取決於建築自身的高度和周圍建築的高度。由於各個地區的太陽能輻射量取決於該地區的地理位置，因此將各地區的太陽輻射總量比較對於城市規劃的指導沒有意義。本部分的研究證明了對於建築而言，占地面積越大，所得到的太陽輻射就越多，對於城市而言，建築的密度越大，所得到的太陽輻射量就越大。

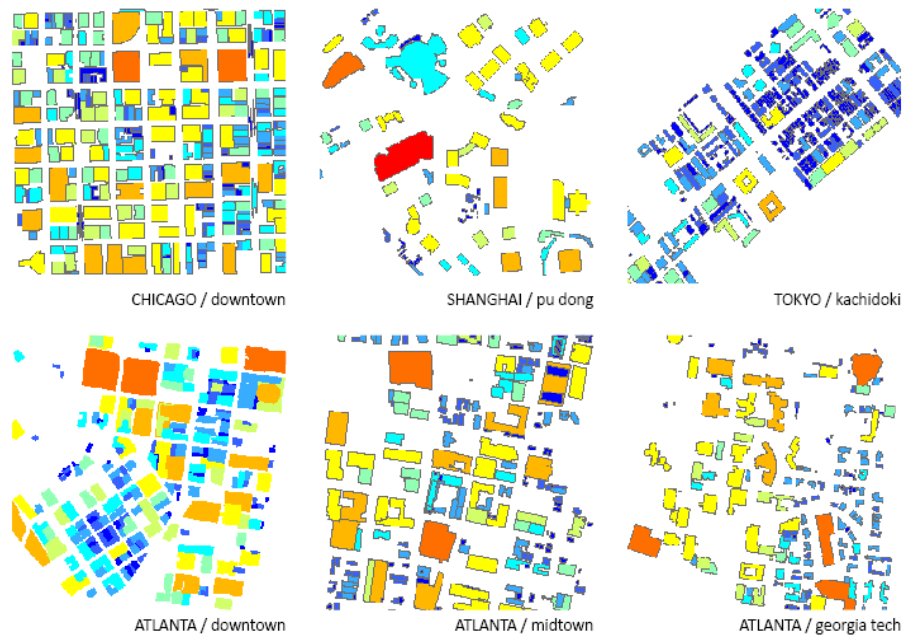


圖 1-39 芝加哥，上海，東京，亞特蘭大城區，亞特蘭大外城區，喬治亞理工太陽能接受能力



圖 1-40 曼哈頓城區，曼哈頓外城區，溫哥華歷史中心，溫哥華太陽能接受能力

圖 1-41 和 1-42 是太陽能轉化成負碳的分佈圖。它的解釋與圖 1-39 和 1-40 是一樣的，只是圖例不同。



圖 1-41 芝加哥，上海，東京，亞特蘭大城區，亞特蘭大外城區，喬治亞理工負碳能力

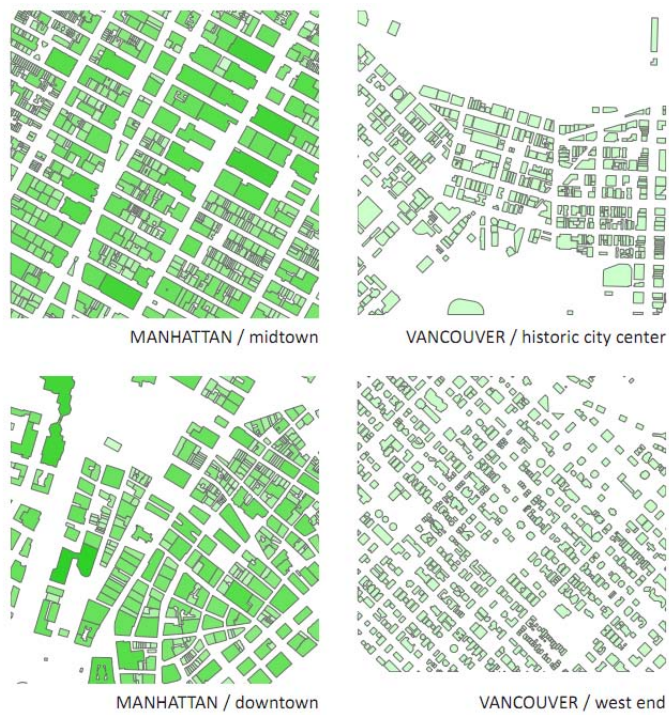


圖 1-42 曼哈頓城區，曼哈頓外城區，溫哥華歷史中心，溫哥華負碳能力

圖 1-43 和 1-44 是各研究區域的淨碳排放量分佈圖，各研究區域的總淨碳排放量見圖 45，各研究區域的總碳排放見圖 45 由於淨碳排放量是總碳排放量減去太陽能抵消量，總碳排放量越低，太陽能抵消量越高，所得到的淨碳排放量值就越小。比照所有的研究區域，本研究發現上海浦東和喬治亞理工校園的綠色面積明顯較多。這說明這兩個地方的建築利用太陽能達到或接近零碳排放的可能性比較大，或者比例比較高。

圖 1-46 顯示，接受太陽輻射量最高的城市分別是亞特蘭大，上海和芝加哥，接受太陽輻射量最低的三個城市分別是曼哈頓，東京和溫哥華。亞特蘭大，上海，東京的緯度相近，芝加哥，曼哈頓和溫哥華的緯度相近，這說明城市的地理位置對該地區的太陽輻射量並不起決定性影響。另一方面，我們發現上海，亞特蘭大的建築密度較低，曼哈頓，東京和溫哥華都是密集型的建築模式，這說明建築的密度相比於城市的地理位置對該區域的太陽輻射量有更顯著的影響。

比較圖 1-45，圖 1-46 和圖 1-47，我們發現（1）一個地區的太陽能接受量與該地區的建築覆蓋率有關，這已在上文進行了分析。（2）所有地區的太陽輻射所能抵消的碳排放量，都只占該地區總碳排放量的很小一部分。因此僅僅依靠太陽輻射，不可能達到該區域的整體零碳排放（3）分散性建築佈局加上單體建築面積大（如上海和亞特蘭大），較易達到單體建築的零碳或接近零碳排放。



圖 1-43 芝加哥，上海，東京，亞特蘭大城區，亞特蘭大外城區，喬治亞理工淨碳排放

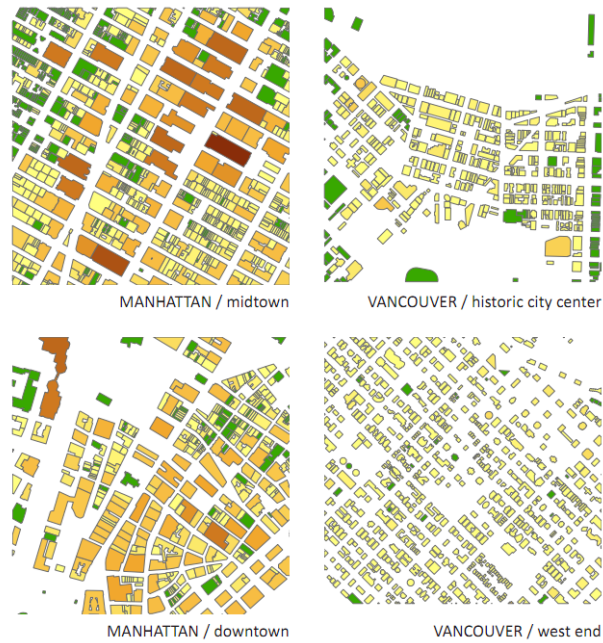


圖 1-44 曼哈頓城區，曼哈頓外城區，溫哥華歷史中心，溫哥華淨碳排放

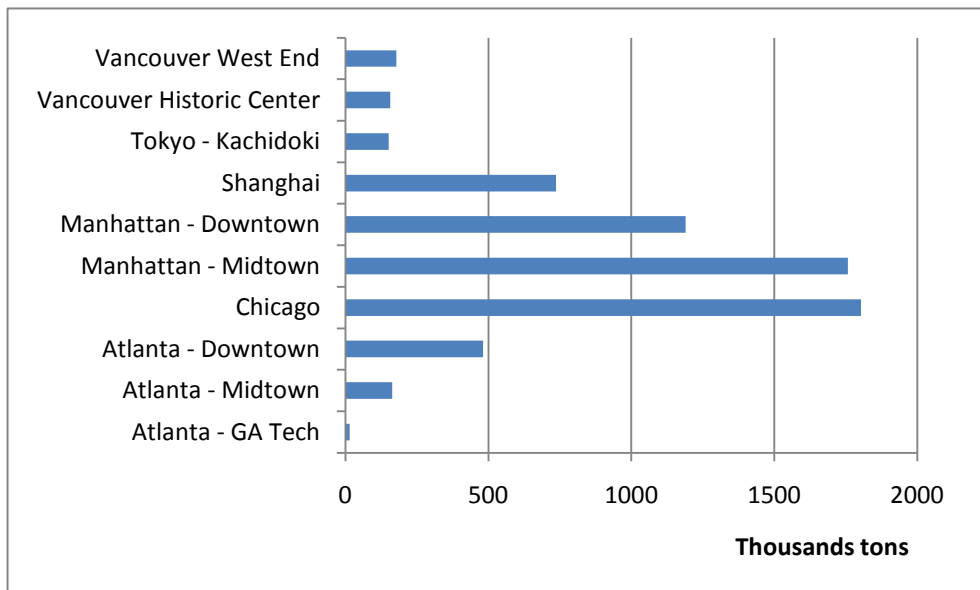


圖 1-45 各研究區域的淨碳排放比較

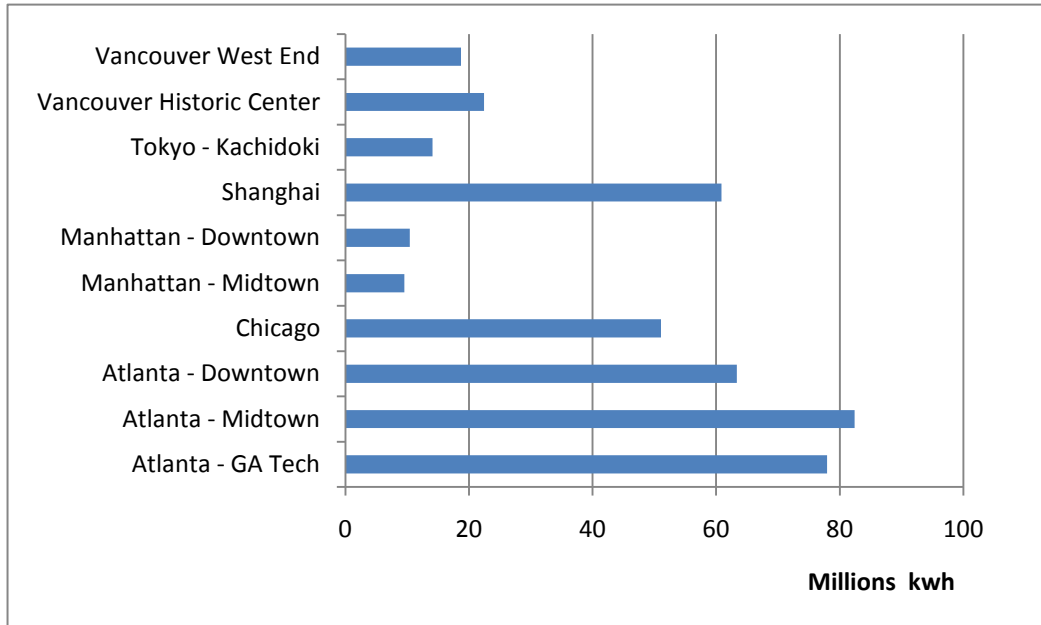


圖 1-46 各研究區域的太陽輻射量比較

圖 1-47 顯示了總 FAR 和每平米碳排放之間的關係。前面我們已經指出，建築的碳排放與建築的總面積和建築的使用類型有關。因此，建築單位面積的碳排放與建築使用類型成正比。這正如圖 1-47 所揭示的，地區的 FAR 越高，該地區越有可能包含較多的能耗較高的建築類型。這通過表 1 得到了證實。FAR 最高的三個地區芝加哥，曼哈頓 downtown 和曼哈頓 midtown 的辦公及商用建築比例也最高，亞特蘭大 Midtown，東京和上海的 FAR 較低，其辦公及商用建築比例也較低。亞特蘭大 downtown 的 FAR 較低，但單位平米碳排放較高，這是由於亞特蘭大 downtown 的商用及辦公建築比例很高。

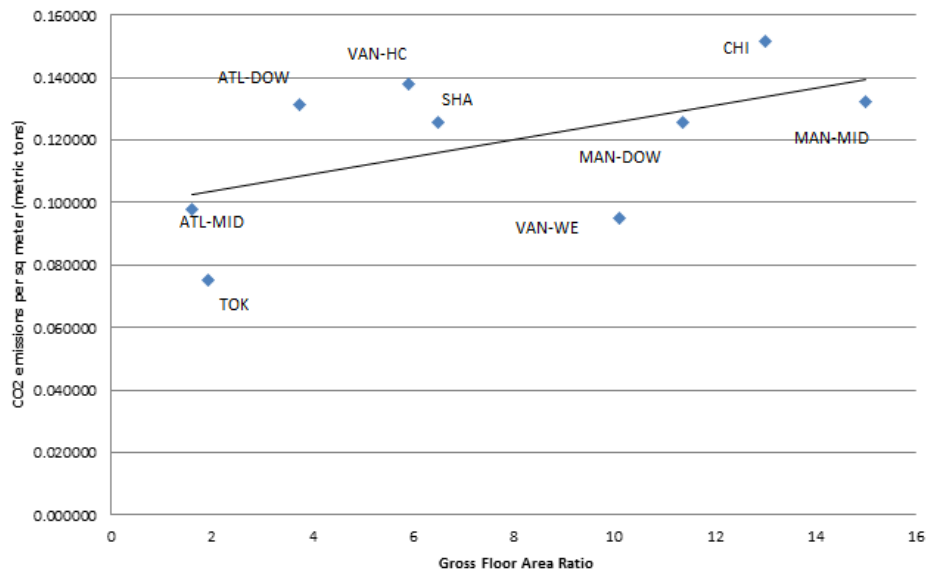


圖 1-47 總 FAR 和碳排放之間的關係

地區	居住，混合建築	商用，辦公建築及其他
亞特蘭大 downtown	5%	95%
亞特蘭大 midtown	42%	48%
芝加哥	1%	99%
曼哈頓 downtown	2%	98%
曼哈頓 midtown	4%	96%
上海	35%	65%
東京	64%	36%
溫哥華歷史區	80%	20%
溫哥華西岸	83%	17%

表 1-1 總 FAR 和土地適用類型之間的關係

圖 1-48 顯示了地區的建築密度和太陽輻射之間的關係。我們上面已經分析過，太陽輻射直接由建築的密度所決定，這裡我們進一步量化它們之間的關係。建築密度由兩個因素決定，FAR 和建築高度。通過計算每個區域的建築密度，我們認為建築密度為 1 是一個很好的分界點。曼哈頓 downtown，曼哈頓 midtown，芝加哥，溫哥華西岸和溫哥華歷史區的建築密度大於 1，它們可以被認為是建築密度較大的區域，上海浦東，東京 Kachidoki，亞特蘭大 downtown，亞特蘭大 midtown 和亞特蘭大 Gatech 的建築密度小於 1，它們被認為是建築密度較小的區域，這與

我們從圖 1-39 和 1-40 中的直觀感覺相一致。圖 1-48 清晰地顯示了建築密度對於太陽輻射接受程度的負影響。

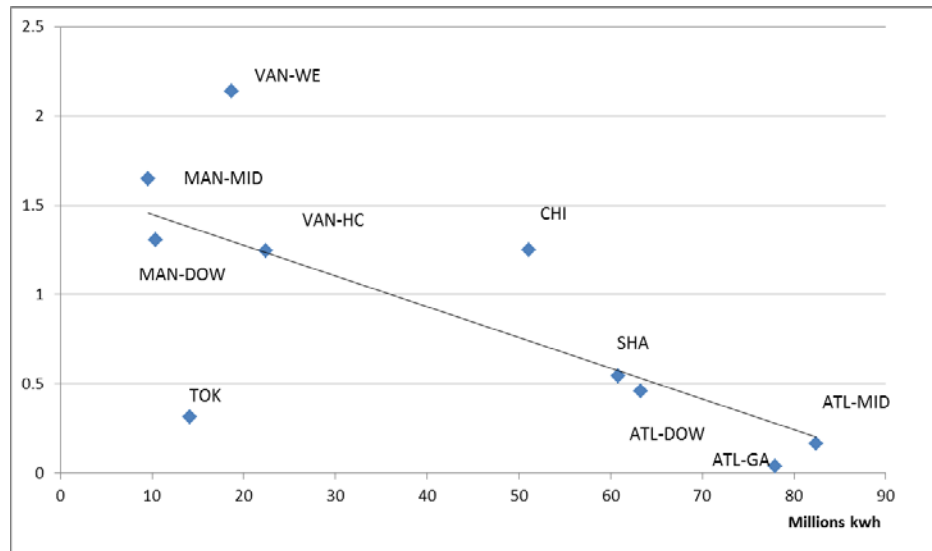


圖 1-48 建築密度和太陽輻射之間的關係

1.6 階段四：小尺度層面資訊收集和分析

工作方法

在小尺度層面上，本研究完成了對各個案例的建築形態的歸類和整理。基於建築高度，面積，形狀等屬性，建築被分成了 60 多類。本研究繼而研究了建築高度，面積體積比，總 FAR 等參數對總碳排放量，太陽能接受能力和碳抵消潛力之間的關係。本研究將建築分成十種形狀：rectangle, court, open court, cross, pedestal, cross pedestal, I, L, triangle 和 setback（如下圖所示）。

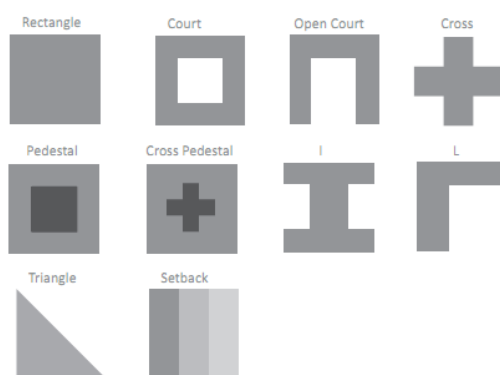


圖 1-49 建築形狀分類

建築形態的分類是基於建築尺寸的平方根 x 和建築高度 h 之間的關係。如果 $x > h$ ，建築就被認為是 mass，否則就是 tower。

建築高度的分類是基於：建築的高度在 0 到 40 米之間的是低層建築，高度在 40 米到 100 米之間的就是中層建築，高於 100 米的是高層建築。

在對每一個建築進行歸類，並計算它的碳排放情況和太陽輻射帶來的碳抵消之後，本研究將同一地區所有相同類型建築的計算結果進行累計和疊加，在下節中陳述。

資訊收集

本研究將所收集和整理的各個地區的建築系統歸類的結果整理如下。圖 1-50 顯示了亞特蘭大城區（左）和亞特蘭大外城區（右）的歸類結果，圖 1-51 左顯示了亞特蘭大喬治亞理工的建築形態分佈。我們發現亞特蘭大 **downtown** 的建築以長方形的建築形態居多，並且大多是低層建築。摻雜著部分中層和高層建築。亞特蘭大 **midtown** 的建築更為分散，還是以長方形的建築居多，但同時庭院式的建築也多了，建築仍然以低層為主，中高層建築相比亞特蘭大 **downtown** 少。喬治亞理工校園與這兩者相比，建築更為分散，庭院式的建築更多，同時低層也更多。。

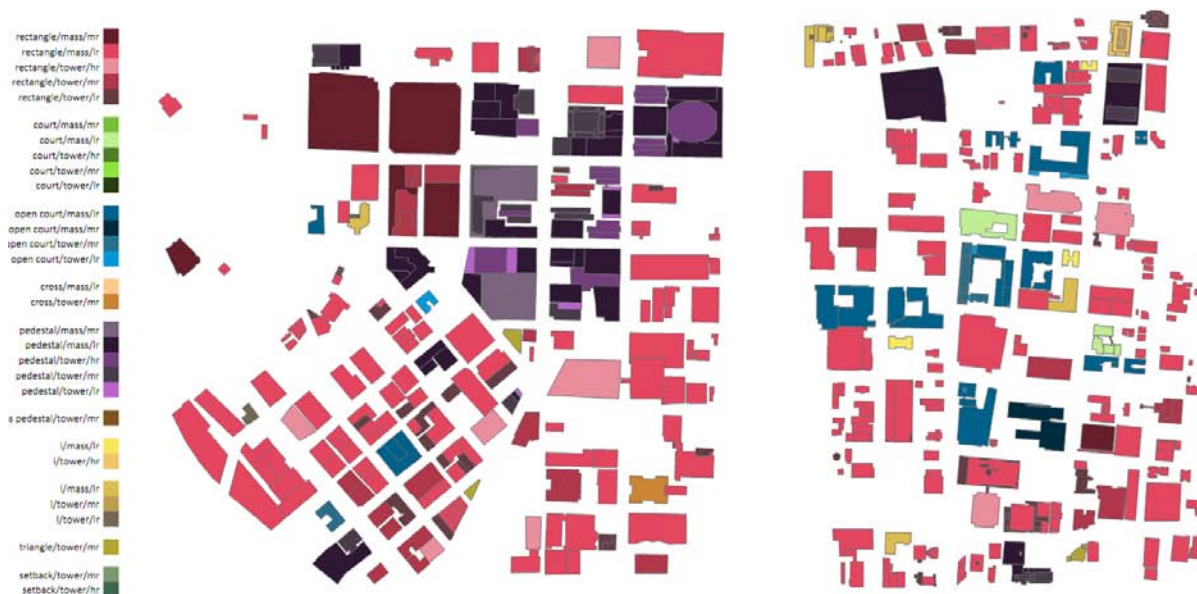


圖 1-50 建築形態歸類（左為亞特蘭大 **downtown**，右為亞特蘭大 **midtown**）

圖 34 建築形態歸類（左為亞特蘭大城區，右為亞特蘭大外城區）

圖 1-51 顯示了喬治亞理工校園（左）和芝加哥（右）的歸類結果。圖 1-52 顯示了曼哈頓城區（左）和曼哈頓外城區（右）的歸類結果。如果我們將芝加哥，曼哈頓 **midtown**，曼哈頓 **downtown** 放在一起分析，我們發現曼哈頓 **midtown** 和芝加哥的建築密度更大，建築以高層建築居多，曼哈頓 **downtown** 的建築密度較小。結合對各地區的 F.A.R. 的分析，F.A.R. 從高到低的順序依次為曼哈頓 **midtown**，芝加哥，和曼哈頓 **downtown**，而總碳排放從高到低的順序也依次為芝加哥，曼哈頓 **midtown** 和曼哈頓 **downtown**，而從建築形態的角度看，芝加哥的建築形態以長方形為主，曼哈頓 **midtown** 的建築形態以 **setback** 和 **pedestal** 居多，也就是說芝加哥和曼哈頓 **midtown** 的建築形態的差異性較大，但是這對於這兩個地區的總碳排放沒有很大影響。

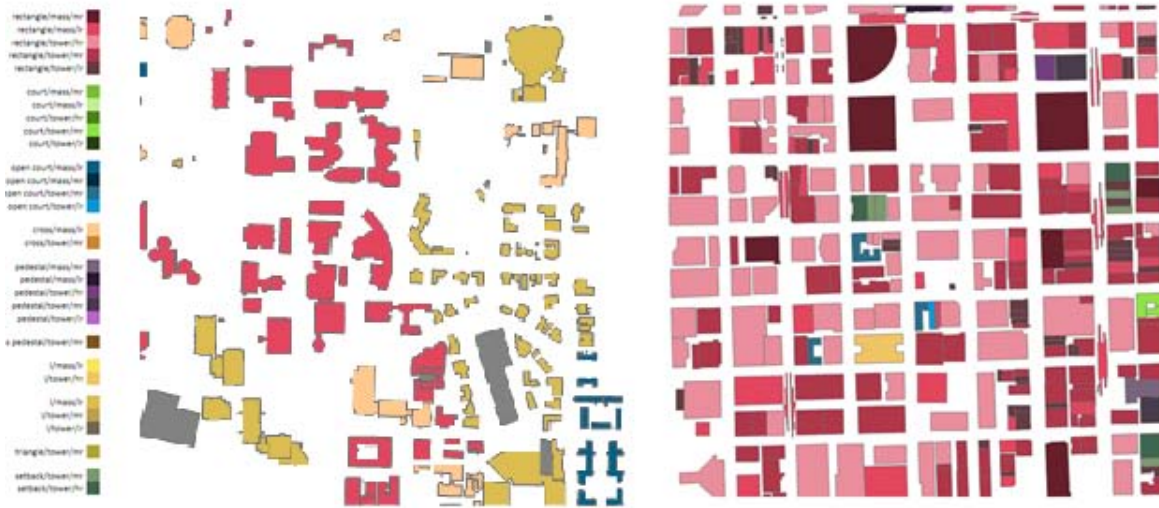


圖 1-51 建築形態歸類（左為喬治亞理工校園，右為芝加哥）

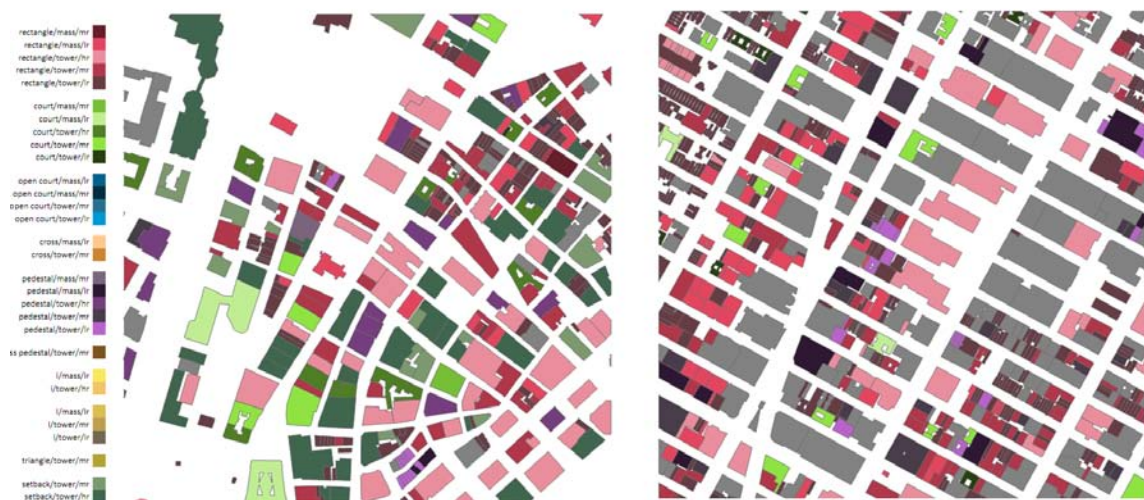


圖 1-52 建築形態歸類（左為曼哈頓城區，右為曼哈頓外城區）

圖 1-53 顯示了上海（左）和東京（右）的歸類結果。我們發現上海的小面積建築以長方形態為主，大面積建築傾向於使用 **pedestal** 型，以高層建築居多，東京的建築也是以長方形態為主，但多為低層。



圖 1-53 建築形態歸類（左為上海，右為東京）

圖 1-54 顯示了溫哥華歷史中心（左）和溫哥華西岸（右）的歸類結果。溫哥華歷史中心的建築密度較低，同時大面積建築較多，這些建築多為長方形，溫哥華西岸的建築也以長方形為主，同時參雜著庭院式建築。



圖 1-54 建築形態歸類（左為溫哥華歷史中心，右為溫哥華西岸）

分析方法

以上的分析說明，我們的總碳排放主要受到兩方面的影響，F.A.R 和土地適用類型，這一方面顯然是受到了我們的總碳排放計算方法的局限的影響，因此我們在下文的分析中採用了以建築模擬為手段的分析進一步分析了建築形態對碳排放的影響。

我們的分析基於以下步驟：

- 根據我們列出的建築分類規則，把所有地區的所有建築按建築形態，建築高度和建築用途分類。其結果已通過圖 1-50—圖 1-54 展示，作為結果的一部分，我們在下表（表 1-2）中展示了澳門的各建築類型。
- 對每一個建築形態，我們選擇了一個代表性建築尺寸，包括占地面積，建築體積和建築高度。綜合建築尺寸和建築形態，我們就得到了一個代表性建築（同樣已在表 1-2 中展出）。
- 對每一個建築類型的代表建築，我們使用建模軟體 (SketchUp) 對建築進行建模，再使用建築類比軟體 (IES VE) 對每一個單體建築進行模擬。
- 剔除掉建築形態的因素，我們把建築形態和建築高度綜合為一個變數，把它命名為複合建築形態，然後我們把所有的計算結果按複合建築形態進行平均，所得到的結果在圖 1-55 中展出。

Category	Landuse	Typology	Composite Typ	Volume(m3)	Footprint(m2)	Height(m)
C1-Mass	Commercial	Rectangle	RectangleMassLR	21875	875	25
C2-CrossStepTower	Commercial	Cross	CrossTowerMR	27000	900	60
C2-Mass	Commercial	Rectangle	RectangleMassLR	21875	875	25
C2-StepTower	Commercial	Pedestal	PedestalTowerMR	23625	900	60
C2-Tower	Commercial	Rectangle	RectangleTowerMR	24000	400	60
C3-Mass	Commercial	Rectangle	RectangleMassLR	21875	875	25
C3-StepTower	Commercial	Pedestal	PedestalTowerMR	23625	900	60
C3-Tower	Commercial	Rectangle	RectangleMassLR	21875	875	25
MU1-Court	Mixed Use	Court	CourtMassLR	16406	656	25
MU1-Mass	Mixed Use	Rectangle	RectangleMassLR	21875	875	25
MU1-OpenCourt	Mixed Use	Open Court	OpenCourtTowerLR	13671	546	25
MU1-CourtTower	Mixed Use	Court	CourtTowerMR	39375	656	60
MU1-Tower	Mixed Use	Rectangle	RectangleTowerMR	24000	400	60
MU2-CourtTower	Mixed Use	Court	CourtTowerMR	39375	656	60
MU2-CrossStepTower	Mixed Use	Cross Pedestal	CrossPedestalTowerMR	27000	900	60
MU2-OpenCourtTower	Mixed Use	Open Court	OpenCourtTowerMR	35175	586	60
MU2-StepTower	Mixed Use	Pedestal	PedestalTowerMR	23625	900	60
MU4-StepTower	Mixed Use	Pedestal	PedestalTowerMR	23625	900	60
O1-Mass	Office	Rectangle	RectangleMassLR	32875	875	25
R1-Court	Residential	Court	CourtMassLR	16406	656	25
R1-Mass	Residential	Rectangle	RectangleMassLR	21875	875	25
R2-Mass	Residential	Rectangle	RectangleMassMR	43750	875	50
R3-CrossStepTower	Residential	Cross Pedestal	CrossPedestalTowerMR	27000	900	60
R3-Tower	Residential	Rectangle	RectangleTowerMR	24000	400	60
MU2-Mass	Mixed Use	Rectangle	RectangleMassLR	21875	875	25
MU2-OpenCourt	Mixed Use	Open Court	OpenCourtTowerLR	13671	546	25

MU2-Tower	Mixed Use	Rectangle	RectangleTowerMR	24000	400	60
MU3-Mass	Mixed Use	Rectangle	RectangleMassLR	21875	875	25
MU4-CrossStepTower	Mixed Use	Cross Pedestal	CrossPedestalTowerMR	27000	900	60
MU4-Mass	Mixed Use	Rectangle	RectangleMassLR	21875	875	25
O1-StepTower	Office	Setback	SetbackTowerMR	23625	900	60
O2-CrossStepTower	Office	Cross Pedestal	CrossPedestalTowerMR	27000	900	60

表 1-2 澳門地區建築形態和代表性建築尺寸的選

分析結果

最後，本研究將建築形態與碳排放計算結果相關聯，整理於圖 1-55。

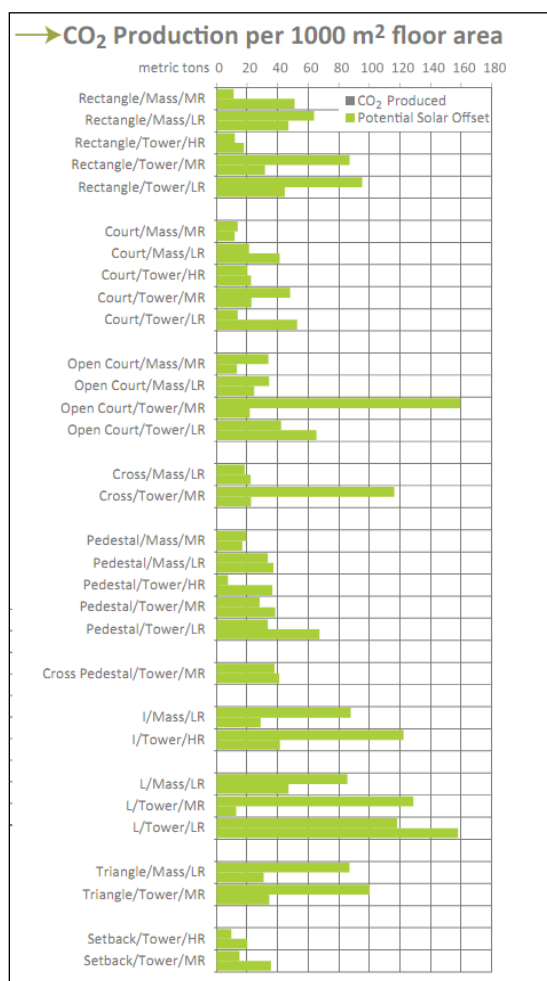


圖 1-55 十個地區的單位面積碳排放和建築形態之間的關係

通過圖 1-55 本研究發現， court， cross， pedestal， 和 setback 這幾種形狀的建築單位面積所排放的碳較少， I， L， 和 Triangle 這幾種形狀單位面積所排放的碳較多。我們認為這與建築能接受的太陽輻射，以及建築的外表面積有關。當然由於我們已經把十個地區的所有建築進行了平均，而建築形態對於建築性能的影響很大程度取決於建築所在的位置，因此我們很難從建築的熱力學性能角度來解釋為什麼 I,L 和 Triangle 的形態的建築排放的碳比較多。我們會在報告的第二部分專門針對澳門進行建築形態與建築性能的影響關係研究。

1.7 第一部分總結

在第一部份的報告裏，本研究收集了全球七個水岸城市在三個尺度上的資訊：大尺度，中尺度（1km × 1km）和小尺度（街區）。本研究使用了由上往下和由下往上兩種方法對總碳排放和太陽能潛力進行了分析。本研究對分析結果進行了整理，這將是本研究第二部分對澳門個案進行分析和提供規劃建議的依據。我們對於全球案例城市的參考點分析，得到以下的經驗研究發現：

1. 人口密度，產業組成，文化習慣和單位人口碳排放率之間存在著互相依賴，互相影響關係。總的來說，東方的文化習慣比較節能，工業化程度高的城市碳排放率較高，人口密度高則有助於降低單位人口碳排放率。亞特蘭大和曼哈頓的產業組成類似，文化習慣類似，人口密度很低的亞特蘭大的單位人口碳排放率比曼哈頓多出很多。芝加哥與亞特蘭大相比，工業化程度更高一些，但是人口密度高，單位人口的碳排放率因而較低。
2. 人口密度和 CO₂ 排放率之間的關係基本上呈負相關。高人口密度帶來的好處包括（1）建築空間以及建築能源的利用率提高，從而導致單位人口的建築能耗下降（2）公共交通系統更趨便利，人們也更傾向於使用公共交通系統（3）城市的基礎實施以及基礎設施消耗能源的利用率提高。這些好處說明高人口密度城市降低了單位人口的 CO₂ 排放。
3. 城市街道交叉的密集性程度與城市公共交通的發達程度呈正相關。我們發現，曼哈頓 midtown，東京 Kachidoki，溫哥華歷史區和溫哥華西岸的交通密集性程度很高，這與它們的公共交通系統的發達程度是一致的。亞特蘭大，上海和芝加哥的交通密集性程度略低，除了上海外，亞特蘭大和芝加哥的公共交通系統的發達程度也是相對較差。公共交通可以有效地降低城市的碳排放，增加城市街道交叉的密集程度有助於降低城市的碳排放。
4. 單體建築的能源消耗（使用階段碳排放）主要取決於兩個因素，建築的總面積和建築使用類型。建築的總面積越大，能耗越高，居住建築的能耗小於辦公樓的能耗，混合型建築居中。城市建築的能源消耗（使用階段碳排放）也取決於兩個主要因素，亦即建築開發強度（總建築容積率 FAR）和建築使用類型（各類型建築的面積占總建築面積的比例）。

5. 一個地區的太陽能接受量主要取決於該地區的建築密度（此處建築密度的定義為總 FAR 除以建築平均高度），在本研究中，建築密度大於 1 的區域被認為是高密度區域，建築密度低於 1 的區域被認為是低密度區域。建築密度對於區域的太陽能接受量產生負影響。
6. 所有地區的太陽輻射所能抵消的碳排放量，都只占該地區總碳排放量的一部分。因此僅僅依靠太陽能的再生能源系統，將很難達到該區域的整體零碳排放。但是分散性建築佈局加上表面積較大建築規劃（如上海和亞特蘭大），較易達到單體建築的零碳或接近零碳排放。
7. 本研究對全球十個 1km × 1km 區域的所有建築進行了歸類，發現城市的 F.A.R. 越高，該地區的建築密度就越大，建築平均高度就越高。從建築單體角度出發，建築高度越高，該建築越有可能是辦公樓型建築，單位平米消耗的能耗也就越高。從一般的角度來講，court, cross, pedestal, 和 setback 這幾種形狀的建築單位面積所排放的碳較少，I, L, 和 Triangle 這幾種形狀單位面積所排放的碳較多。但是這一結果有可能受到（1）選擇研究區域的影響（2）在各個建築形態的種類所選擇的代表性建築不同的影響。因此這一結果，在未來若進行澳門填海新區具體的的設計準則時，還需要因地制宜來進行規劃研究。

第二部分 澳門專題

2.1 大尺度分析

2.1.1 人口密度

澳門的城市面積為 30 平方公里。在 9 月 30 日，2010 年總人口數為 549500，根據人口統計資料，這一值平均每年增長 1.5%。根據這一資料，澳門人口密度為 1831.7 人/平方公里。將這一數值與其他六個國際水岸城市比較（見圖 2-1），我們發現澳門的人口密度僅次於曼哈頓，排第二。

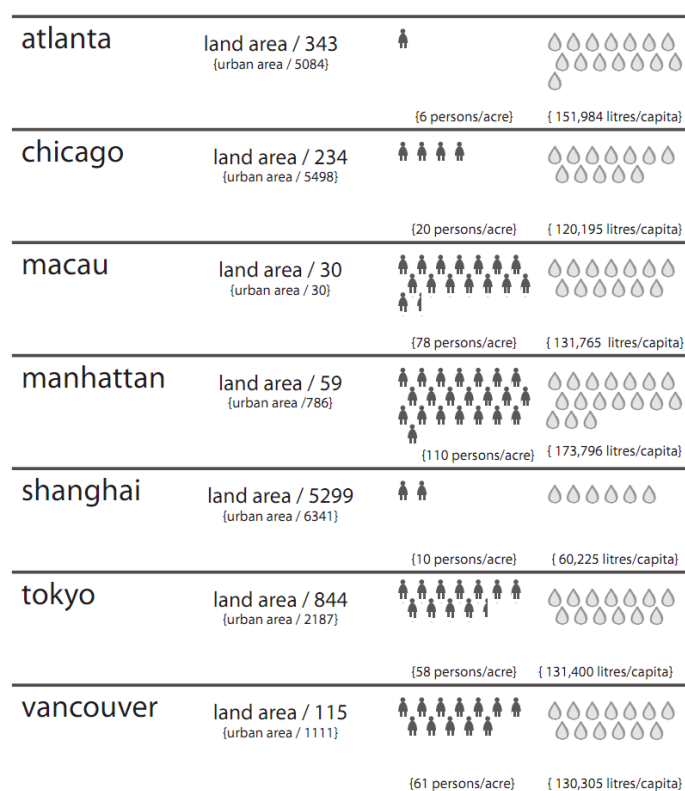


圖 2-1 國際水岸城市比較

根據 Macau(2009b), 澳門到 2014 年的人口的估計值如圖 2-2 所示，即超過 60 萬人口。

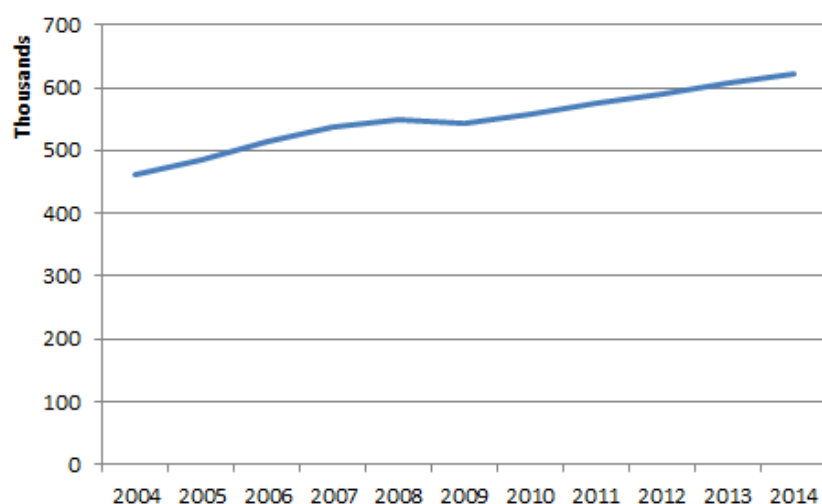


圖 2-2 澳門人口預測

2.1.2 能源消耗

根據 Macau(2009a)，澳門 2009 年的能源使用情況為：汽油 63516 千升，煤油 7263000 千升，柴油 158633 千升，燃料油 161364 千升，液化石油氣 40128 噸，天然氣 82314 千平方米，電 3312 百萬度。我們把這些能源轉換成總碳排放，然後繪製成餅狀圖，如圖 2-3 所示。

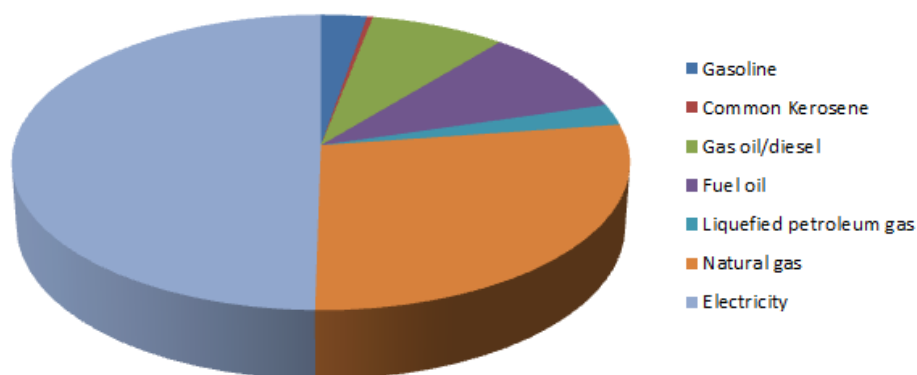


圖 2-3 各種燃料對總碳排放的貢獻

將澳門與曼哈頓進行比較，我們發現儘管澳門的人口密度較低，單位人口的碳排放量卻是相近的。這意味著將澳門與世界上最節能的城市相比，澳門還是有提高能源使用效率的潛力。

假設單位人口碳排放率不變，根據我們預測的澳門在 2014 年的人口值，澳門在 2014 年的總碳排放將達到 6159780 噸（如圖 2-4 所示）。

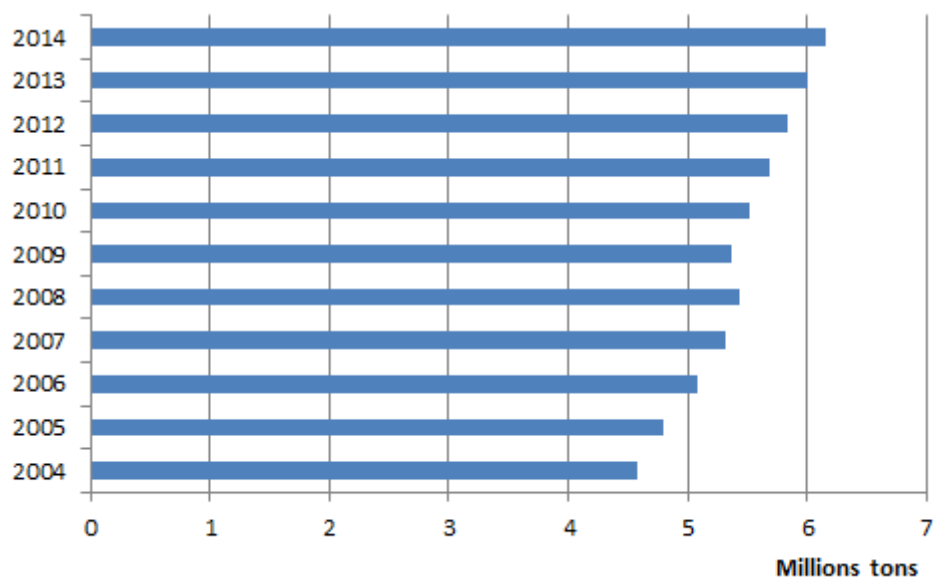


圖 2-4 澳門 2014 年的總碳排放估計

如果我們假設由於應用了一些政策和措施，澳門單位人口的碳排放率平均每年可以降低 5%，那麼圖 2-5 是澳門再 2014 年總碳排放的另一種假設。按照這一估計，澳門在 2014 年的總碳排放將是 3688088 噸，幾乎是上一假設的一半。

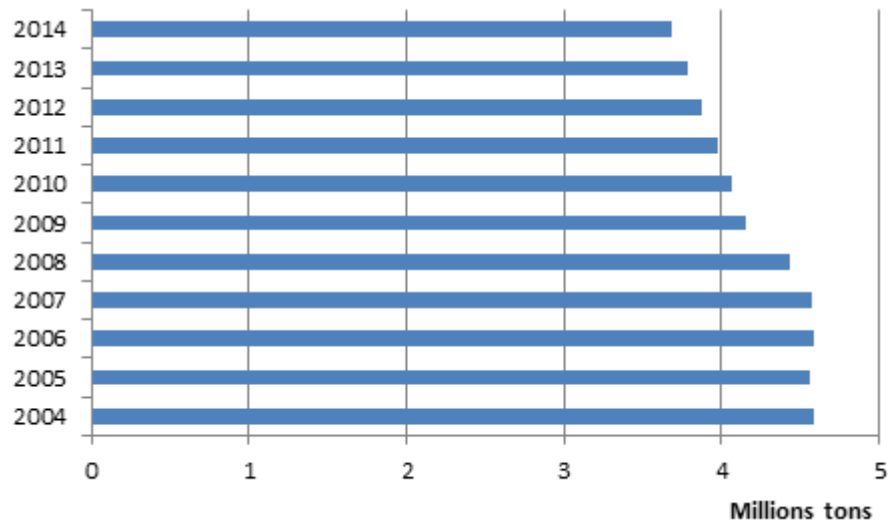


圖 2-5 澳門 2014 年的總碳排放估計

2.1.3 綠色區域面積

根據澳門政府 2009 年的統計資料, 如果包括鄉村的山脈, 澳門 2009 年的總綠色面積是 7704 千平方米, 占澳門總城市面積的 25%。

將 2007, 2008 和 2009 的綠色面積進行比較, 我們發現總的綠色面積平均每年增長 830 千平方米。考慮到這一增長的極限, 如果我們把極限設為城市面積的 30%, 那麼綠色面積在未來的預計將如圖 2-6 所示。

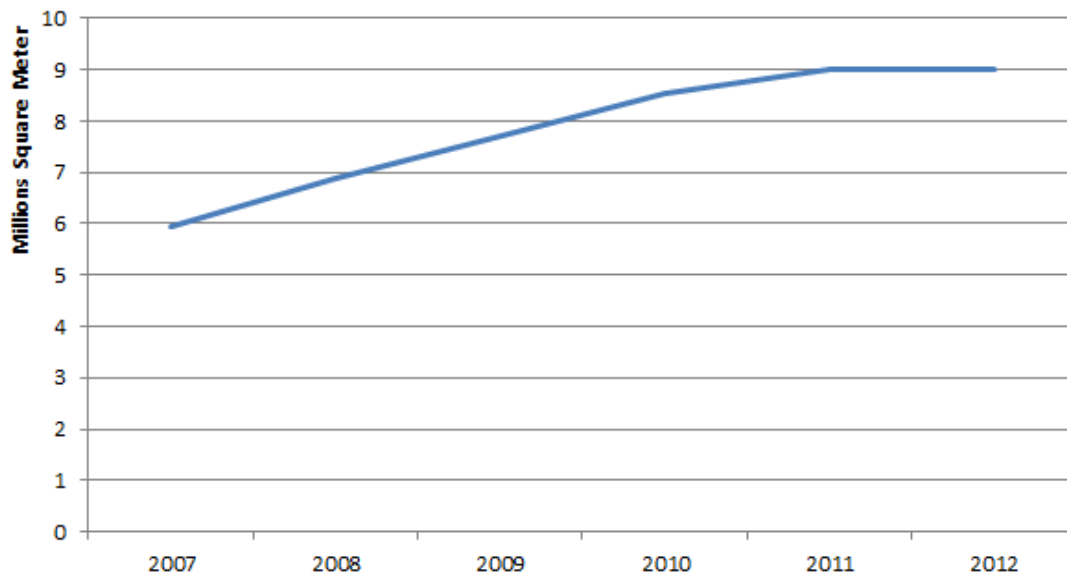


圖 2-6 澳門綠色面積增長預計

如果我們假設每平米綠色面積可以抵消 1.3875kg CO_2 ，那麼我們將澳門的總碳排放減去綠色面積抵消的碳排放就得到澳門的淨碳排放。如果採用我們對總碳排放的第一種假設，即單位人口的碳排放量不變，那麼所得到的淨碳排放量的預測如圖 2-7 所示。如果採用我們對總碳排放的第二種假設，即單位人口的碳排放量每年遞減 5%，那麼所得到的淨碳排放量的預測如圖 2-8 所示。

如果未來澳門的淨碳排放如圖 2-7 所示，那麼到 2014 年將超過 6 百萬噸，如果未來澳門的淨碳排放如圖 2-8 所示，那麼到 2014 年總的淨碳排放將減少到 360 萬噸。

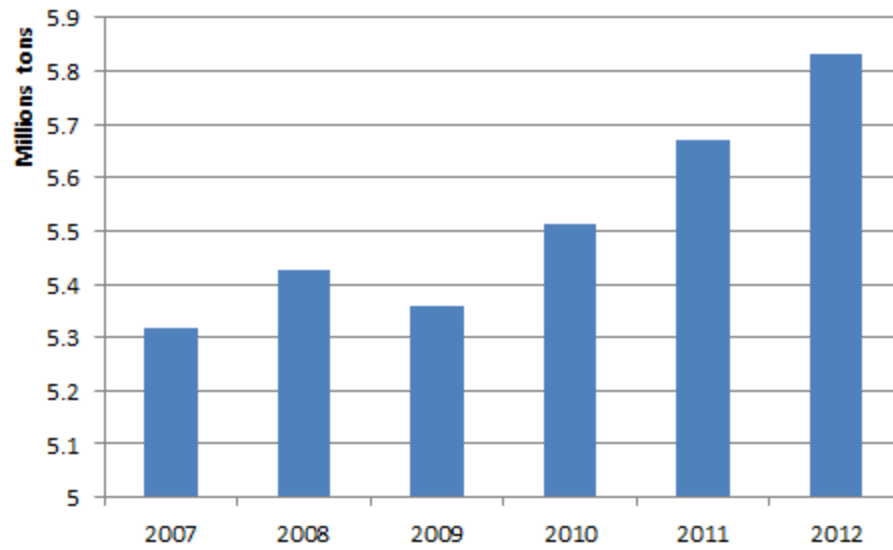


圖 2-7 澳門淨碳排放預測 1

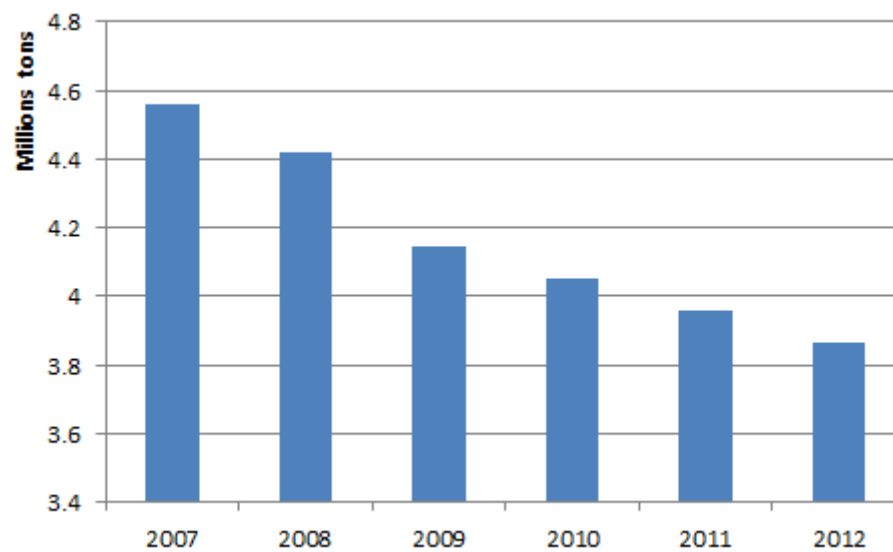


圖 2-8 澳門淨碳排放預測 2

2.2 中尺度分析

2.2.1 碳排放計算方法比較

我們有兩種計算碳排放的方法：方法 1 是基於土地使用情況（假設某一類型的土地使用情況單位面積的碳排放量是固定的），方法二是基於詳細的建築類比軟體（考慮建築的外形，當地氣候，土地使用情況和建築內人員的行為）。方法 1 較簡單，但是結果較粗糙。方法二相對較難，但是可以提供更可靠的結果。

爲了比較這兩種方法，我們分別用方法 1 和方法 2 對新口岸地區的 13 棟建築（根據提供的用電表格）進行了類比，這些建築包括：大豐銀行，德業廣場，建興隆廣場，恒基花園，新香山公園，南岸公園，富達公園，南鴻公園，東南亞廣場，文化中心，文華餐館，教業學校和金沙旅館。

我們將方法 1，方法 2 計算的結果和提供的資料進行了比較，如圖 2-9 所示。我們發現，方法 2 比方法 1 更接近提供的資料（20%以內），方法 1 大概是測量資料的 3 倍左右。儘管方法 2 比方法 1 更可靠，我們在下面的分析中還是使用了兩種方法進行分析，以比較在大尺度範圍內這兩種方法計算結果的差異。

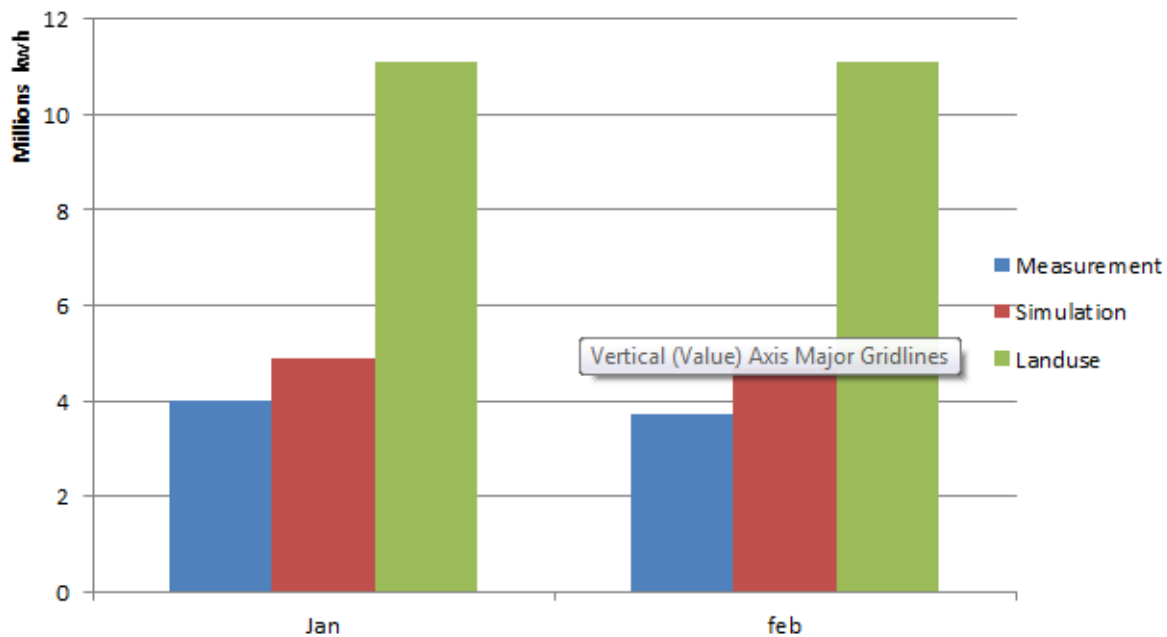


圖 2-9 碳排放計算方法比較

2.2.2 街區結構

我們將新口岸和佑漢地區的街區結構進行了繪製，結果如圖 2-10 所示。



圖 2-10 新口岸和佑漢區的街區結構

2.2.3 地面情況

我們將新口岸和佑漢地區的地面情況進行了繪製，結果如圖 2-11 所示。

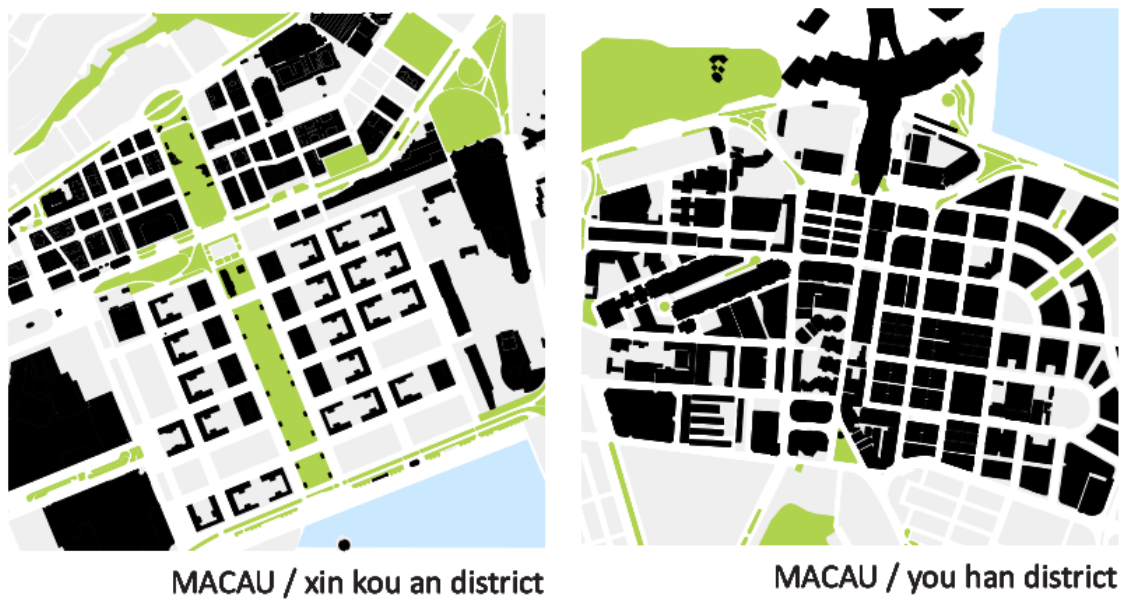


圖 2-11 新口岸和佑漢區的地面情況

2.2.4 街道交叉情況

我們將新口岸和佑漢地區的地面交叉情況進行了繪製，結果如圖 2-12 所示。

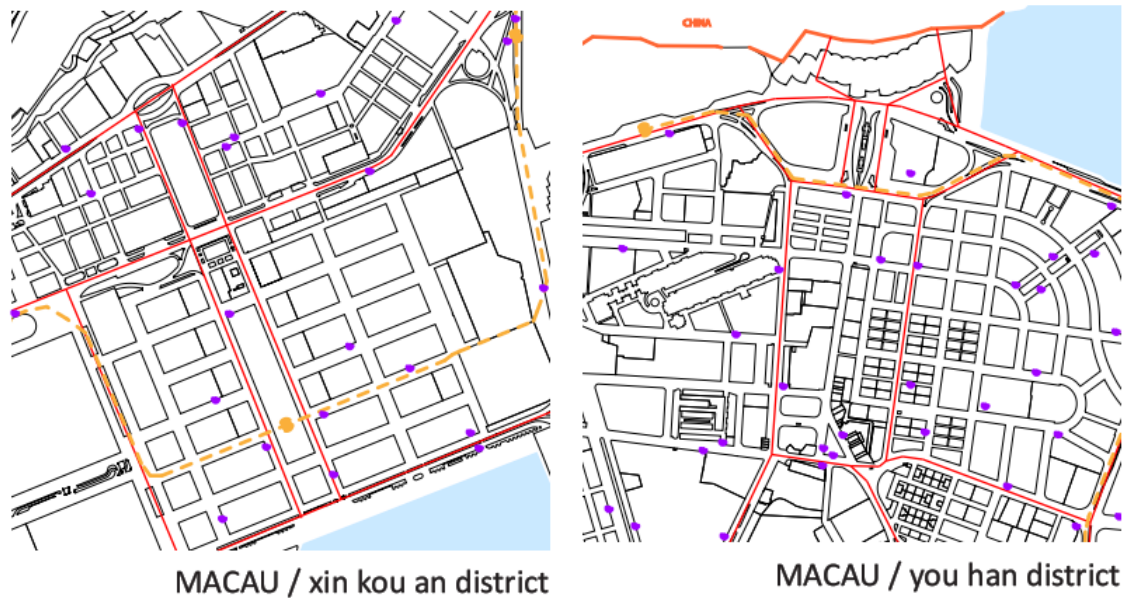


圖 2-12 新口岸和佑漢區的地面交叉情況

2.2.5 建築密度情況



MACAU / xin kou an district



MACAU / you han district

圖 2-13 新口岸和佑漢區的建築密度情況

2.2.6 土地使用情況



MACAU / xin kou an district



MACAU / you han district

圖 2-14 新口岸和佑漢區的土地使用情況

2.2.7 區域比較分析

將澳門與其他國際城市，我們發現澳門有一個很明顯的獨特之處，澳門的街區尺寸最小，並且街道的交點非常多。圖 2-15 顯示了完整的城市參數比較，圖 2-16 突出顯示街區尺寸比較，圖 2-17 突出顯示街道交點數比較。

2.2.8 建築按形體分類

由於研究區域的建築數量眾多（大約 400 棟），使用軟體對其逐個分析幾乎是不可能的。所以我們提出了一套方法將建築按照土地使用情況，外形和高度進行歸類。土地使用情況包括辦公室，民用住宅，混合型住宅和商用。我們採用的建築外形種類如圖 2-18 所示。建築按高度被歸為三類，低層建築（0—40m），中層建築（40-100m），高層建築（>100m）。此外，根據建築的高度和底層面積的平方根之間的關係，建築又被劃分為平屋和塔兩類，如果建築高度大於底層面積的平方根，它就被劃為塔，否則就是平屋。

把以上這些因素綜合起來，就得到了我們列出的澳門建築的種類，如下所示：

- 民用住宅 — 平屋
- 民用住宅 — 庭院
- 民用住宅 — 塔
- 民用住宅 — 十字型塔
- 商用建築 — 平屋
- 商用建築 — 塔
- 辦公樓 — 平屋
- 混合型建築 — 平屋
- 混合型建築 — 開式庭院

	average block size (sq. m)	gross F.A.R.	total surface area/ total building volume	number of intersections
atlanta / ga tech campus	791,500	0.5	8%	51
atlanta / midtown	8,300	1.6	10%	27
atlanta / downtown	6,000	3.7	12%	82
macau / you han	4,016	13	25%	113
macau / xin kou an	5,858	4	22%	110
chicago /	9,500	3.8	10%	61
manhattan / midtown	10,175	15	11%	68
manhattan / downtown	11,979	11.4	12%	172
shanghai /	59,900	6.5	8%	13
tokyo /	8,000	1.9	17%	152
vancouver / historic center	11,443	5.9	21%	147
vancouver / west end	8,800	10.1	21%	153

圖 2-15 城市參數比較

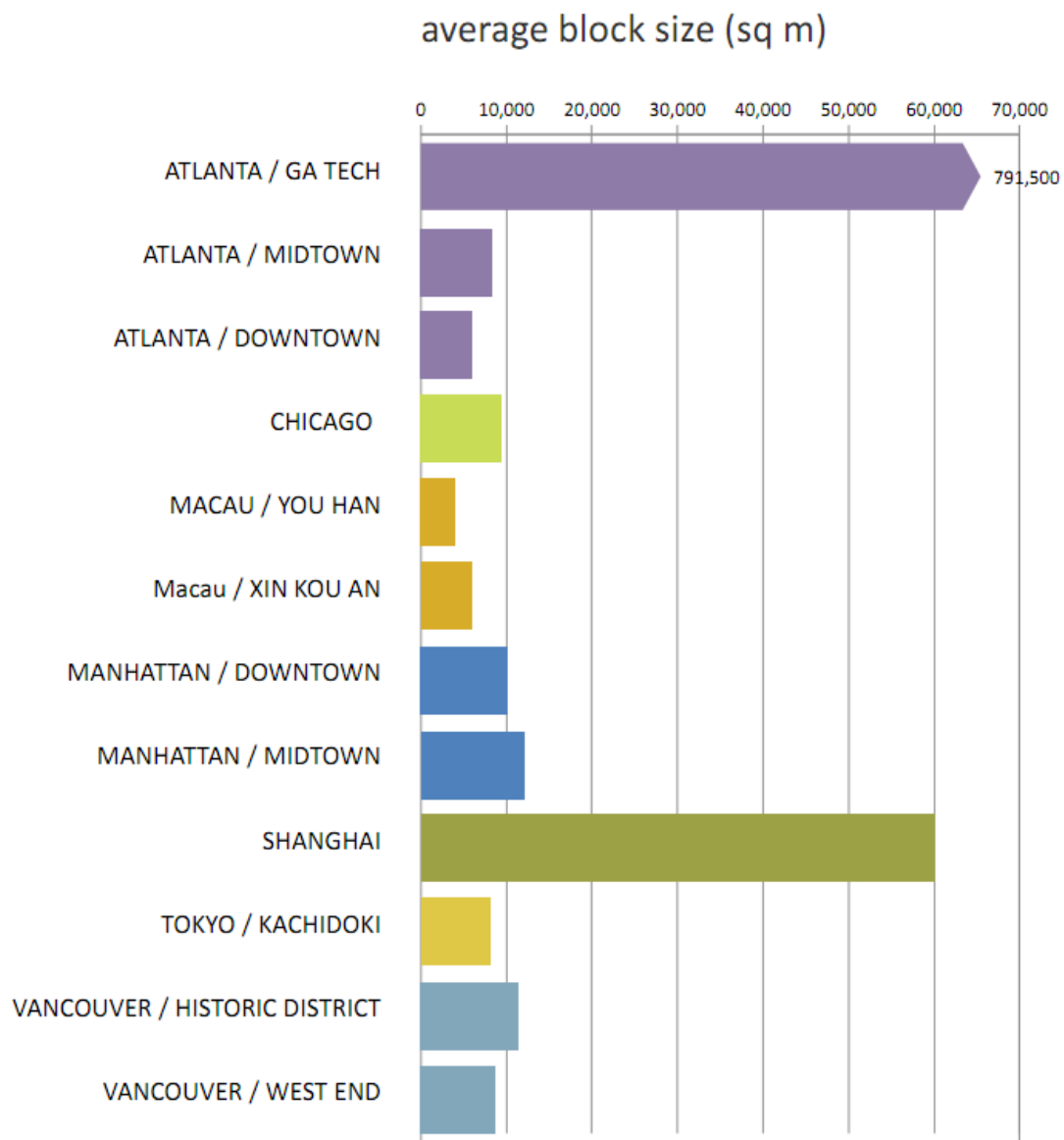


圖 2-16 城市的街區尺寸比較

- 混合型建築 — 庭院
- 混合型建築 — 塔
- 混合型建築 — 十字塔

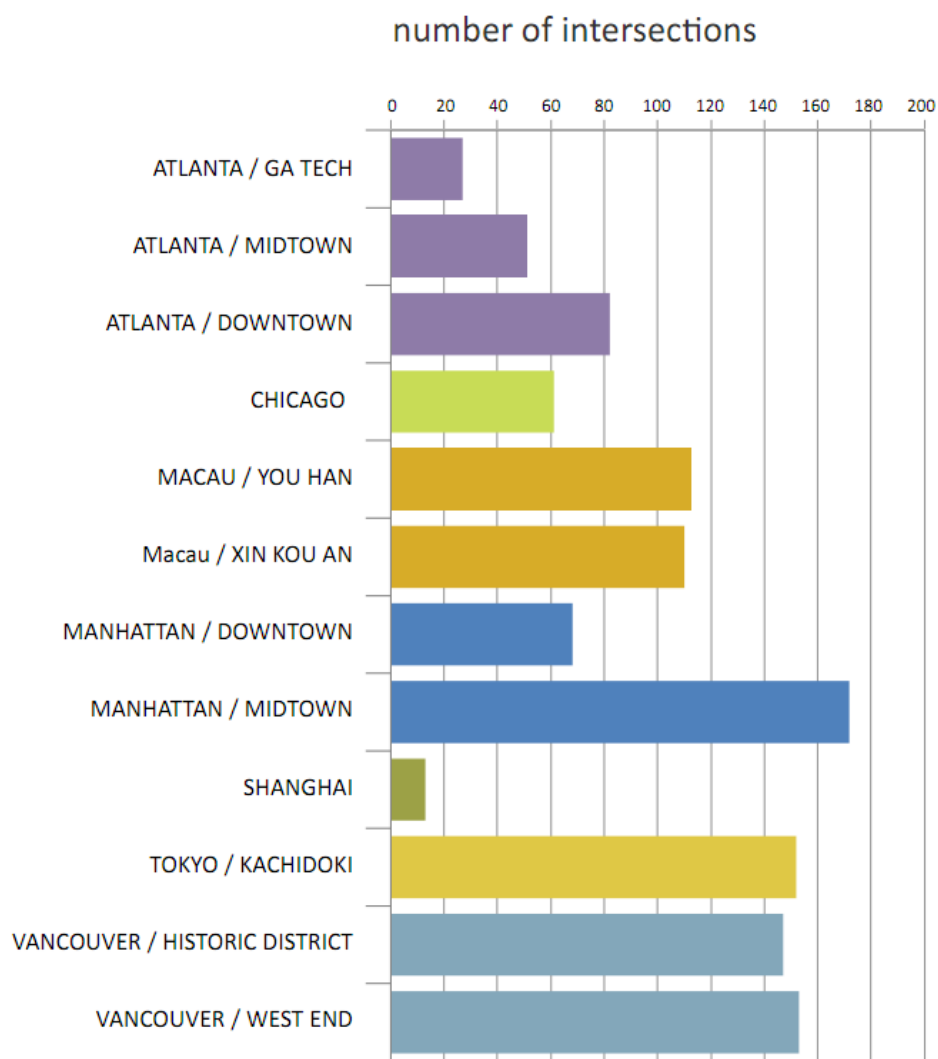


圖 2-17 區域的連接點數比較

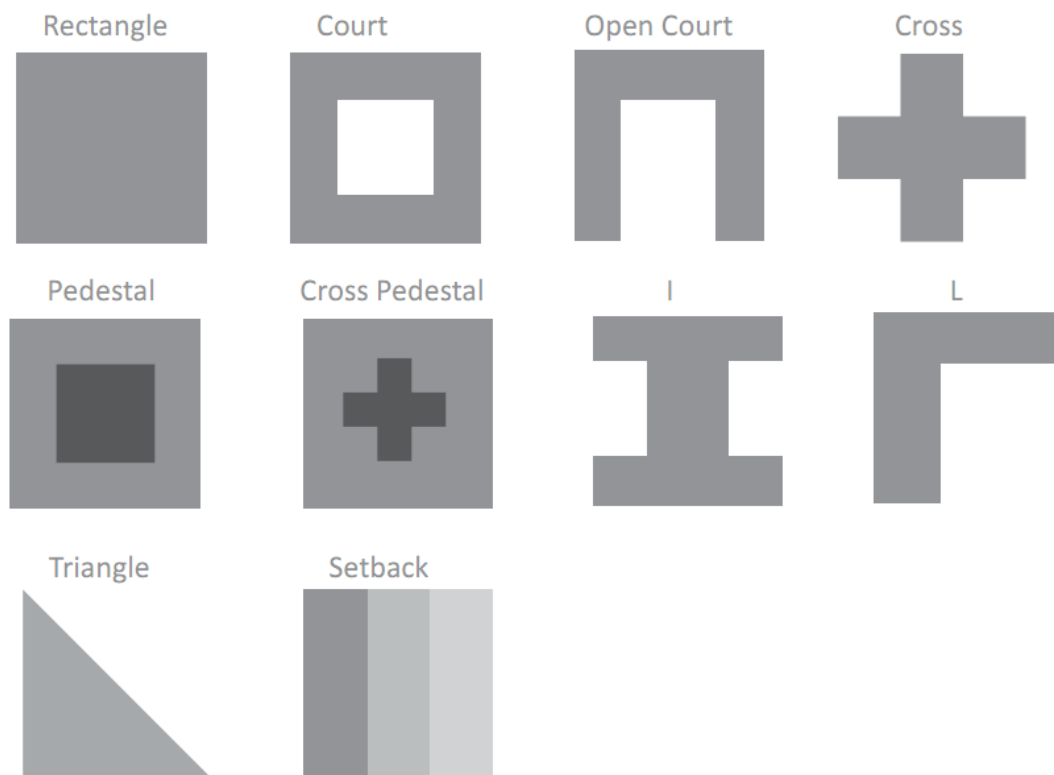


圖 2-18 建築外形種類

2.2.9 新口岸和佑漢地區碳排放計算

如上文所述，我們用了兩種方法計算新口岸和佑漢地區的碳排放。方法 1 假設對於某一種土地使用情況，單位面積排放的碳是固定的，於是將這一值乘以建築的總面積，就得到每年建築的總碳排放。方法 2 是根據建築的形體歸類，假設任何一類建築的單位面積的碳排放量是一定的。首先我們在每一類建築裡面選擇一個代表性建築，對其建築能耗進行計算，得出單位面積的碳排放值，然後將這一值應用到同類的所有建築。

根據這兩種方法，我們計算了新口岸和佑漢區的碳排放量，結果在圖 2-19 中顯示。與前面計算方法的比較一樣，方法 1 得出的結果比方法 2 的結果偏大。我們將基於方法 1 計算的碳排放量在用圖例進行了繪製，如圖 2-20 所示。

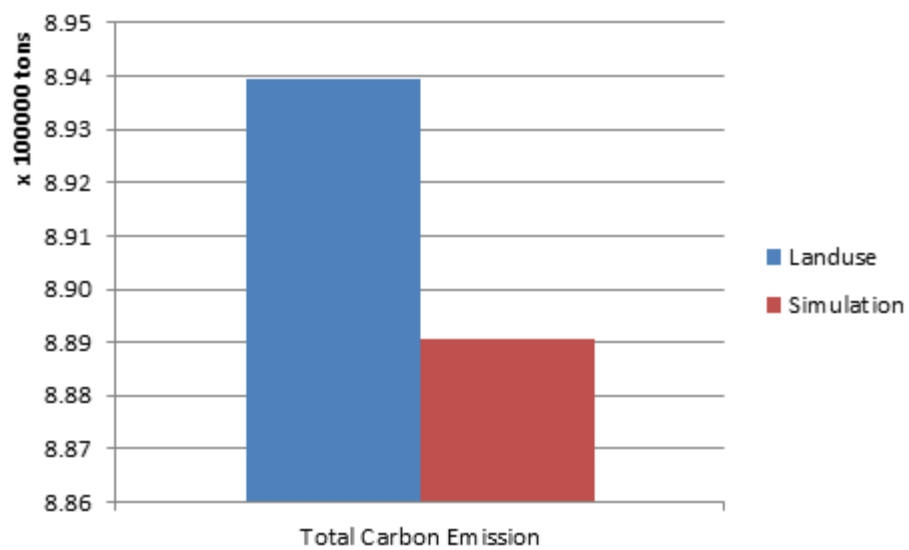


圖 2-19 新口岸和佑漢地區的總碳排放

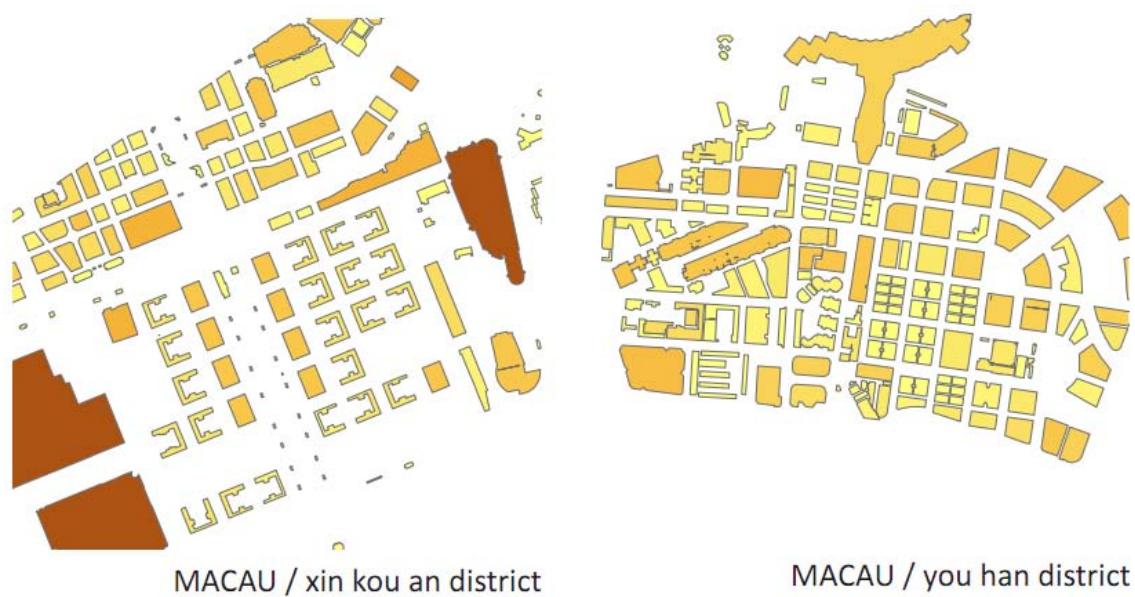


圖 2-20 新口岸和佑漢地區的碳排放（方法 1）

2.2.10 太陽能潛力研究

我們在 GIS 平臺上對新口岸和佑漢地區的太陽能潛力進行了研究。計算結果如圖 2-21 所示。太陽能潛力在城市 2 維平面上的分佈如圖 2-22 所示。

在得到太陽能潛力資料之後，我們把它轉化成負碳抵消量，再與新口岸和佑漢地區的總碳排放量進行比較，結果如圖 2-23 所示。圖 2-23 顯示，僅僅基於太陽輻射，澳門的總碳排放不可能被中和。也就是說，要想達到零碳排放城市，或者總碳排放量需要大幅減小，或者需要利用額外的可再生能源。

2.3 小尺度分析

2.3.1 碳排放和土地使用情況

我們對建築能耗和建築參數（土地使用情況，建築外形，總建築面積和建築體積）進行了研究。

首先我們研究了單位建築面積的碳排放和土地使用情況之間的關係，結果如圖 2-24 所示。圖 2-24 顯示土地使用情況和單位面積的碳排放有很強的相互關係。基於我們的研究，我們發現針對澳門這兩個特定區域，每年平均每平米民用住宅消耗 68 度電，每年平均每平米商用建築消耗 246 度電，每年平均每平米辦公樓消耗 154 度電，每年平均每平米混合型住宅消耗 56 度電。

2.3.2 碳排放和建築外形

然後我們研究了對於同一土地使用情況的住宅，建築的碳排放和建築外形之間的關係。我們發現建築外形（平屋，塔，十字塔，階梯型塔，庭院）和單位面積的能耗沒有直接的關係。我們分析認為，這是因為建築能耗主要取決於居民的行為，建築材料和能源系統，相比之下建築外形對其影響並不大。

2.3.3 碳排放和能源系統

由於我們發現澳門的建築的冷負荷占總能源負荷的比重很大，所以我們對不同的製冷系統進行了比較，主要包括兩種系統：直接膨脹冷卻系統和冷卻水系統。對於直接膨脹冷卻系統，我們選用的是一體化多區製冷系統，在冷卻水系統中，我們比較了傳統的變風量再熱系統（VAV），風機盤管系統（fan coil）和雙管系統。在比較中，我們選擇的是一個 7 層高的辦公樓，總建築面積 6250 平方公里。比較結果如圖 2-25 所示。

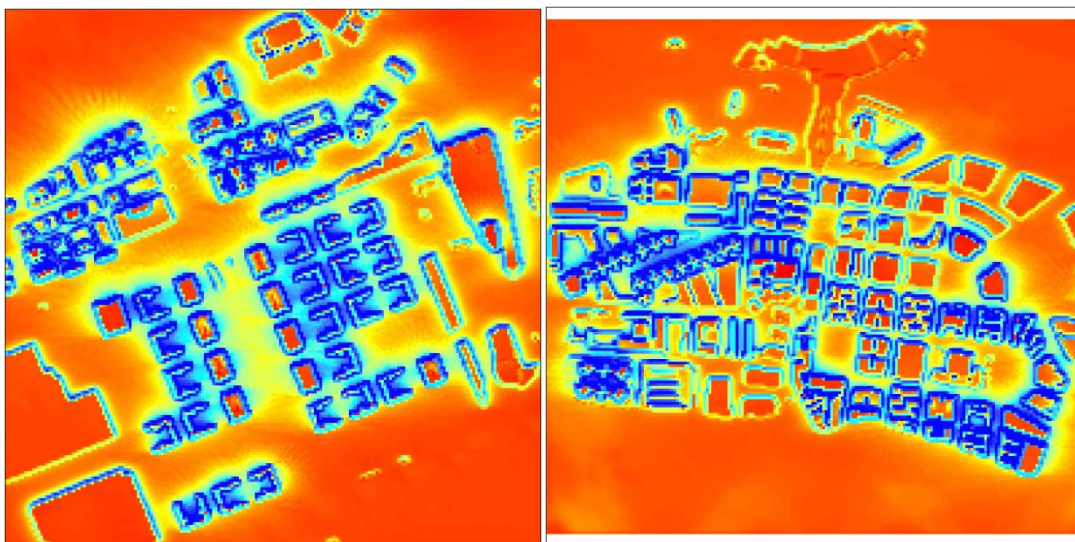


圖 2-21 GIS 太陽能計算結果，左是新口岸區，右是佑漢區

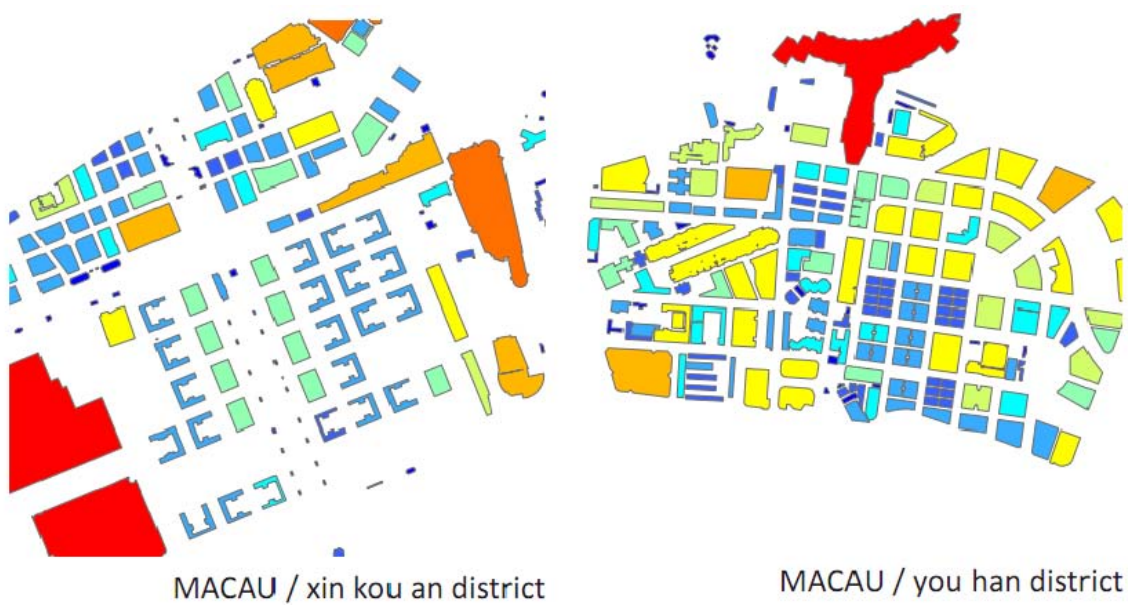


圖 2-22 新口岸和佑漢區二維太陽能潛力分佈

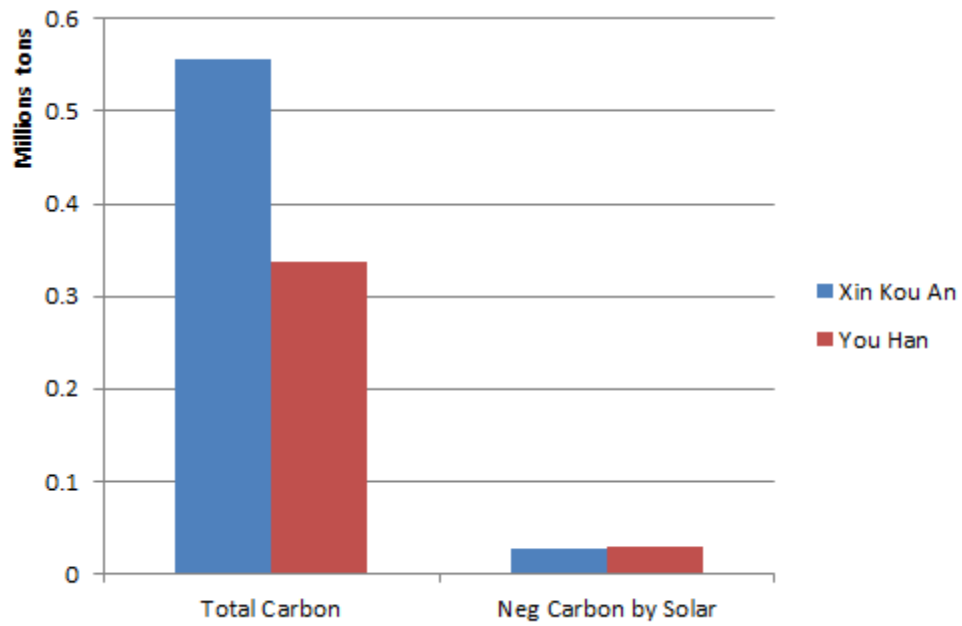


圖 2-23 新口岸和佑漢區的總碳排放量和太陽能負碳抵消量

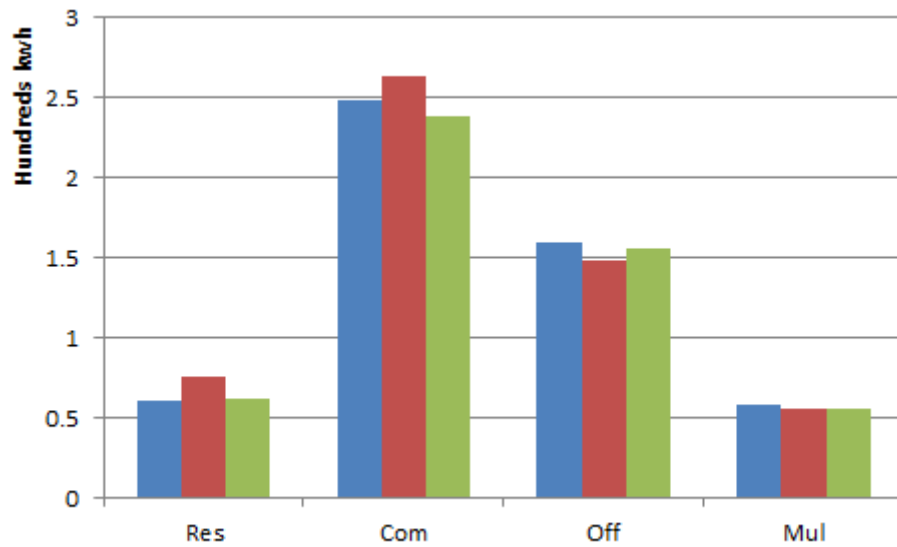


圖 2-24 基於土地使用情況的能耗分析，藍，紅，綠代表不同的建築外形

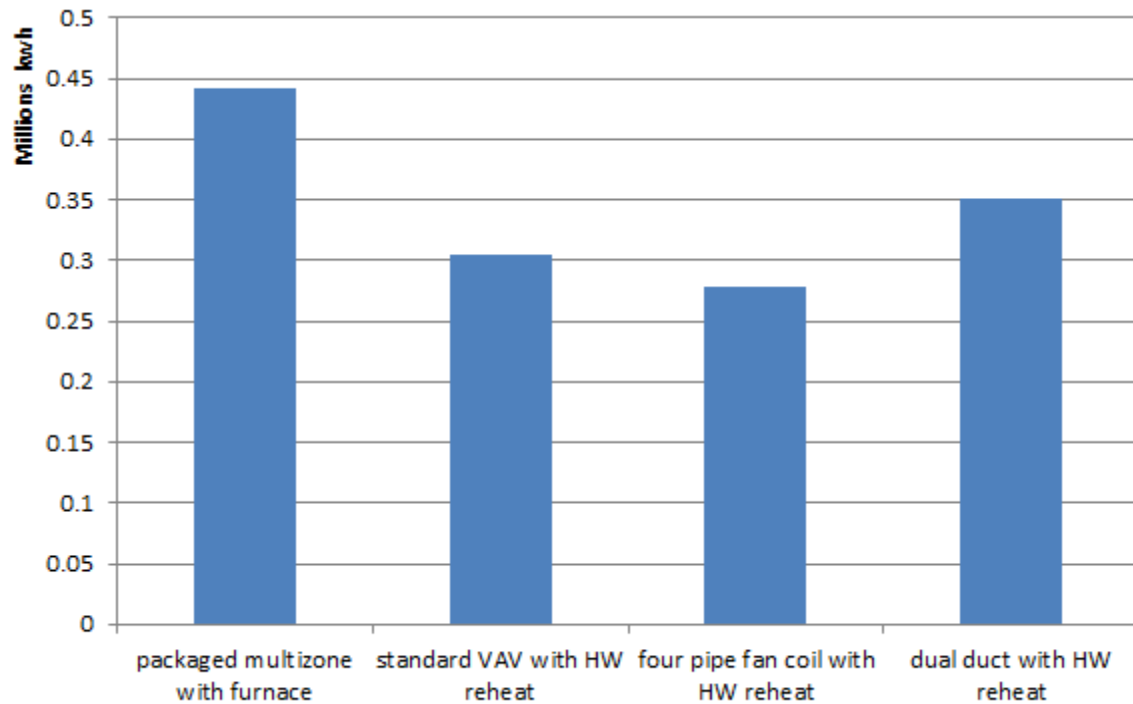


圖 2-25 冷卻系統對建築能耗的影響

2.3.4 太陽能接受能力和建築外形

爲了研究太陽能接受能力和建築外形之間的關係，我們把所有模擬的建築按照建築外形歸類，把所有同類建築的太陽能可接受能力取平均，然後將所有的建築外形就它們的太陽能接受能力進行比較，如圖 2-26 所示。圖 2-26 顯示在所有的外形中，setback 的太陽能可接受能力最強。其餘太陽能可接受能力較強的外形有：階梯型，庭院型和三角型。

2.3.5 太陽能接受能力和街區外形

建築的太陽能接受能力不僅取決於它自身的外形，而且取決於它的附近建築的高度和外形。因此我們研究了街區的形狀和街區可接收到的太陽能之間的關係。我們選擇了如下街區作為研究的物件，原因是這些街區是新口岸區的主要街區外形。

單個街區（兩個高層，開放庭院加塔）（圖 2-27）

單個街區（兩個高層，兩個開放庭院）（圖 2-28）

四個街區（多個高層，開放庭院加塔）（圖 2-29）

四個街區（多個高層，緊湊塔）（圖 2-30）

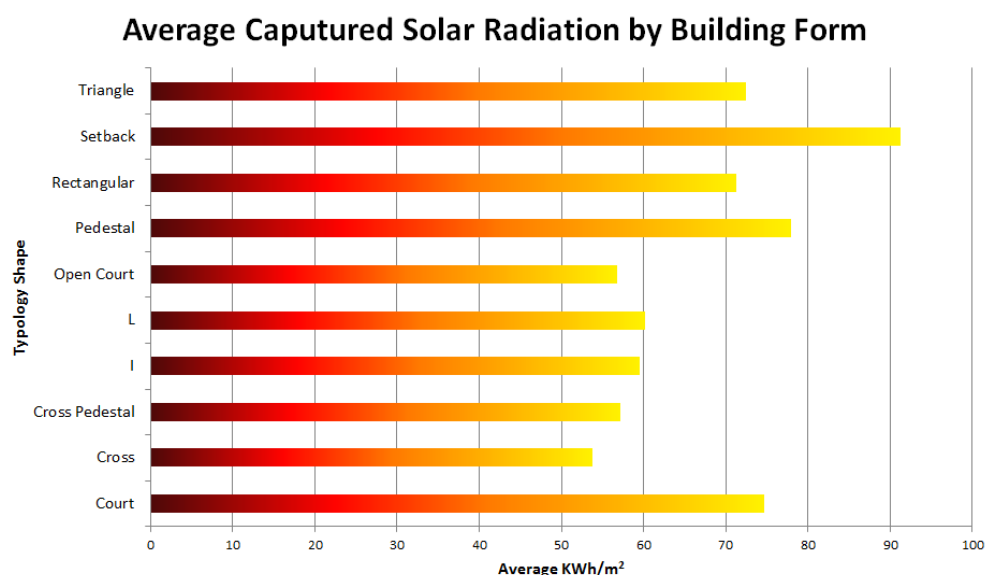


圖 2-26 建築外形和太陽能可接受能力之間的關係

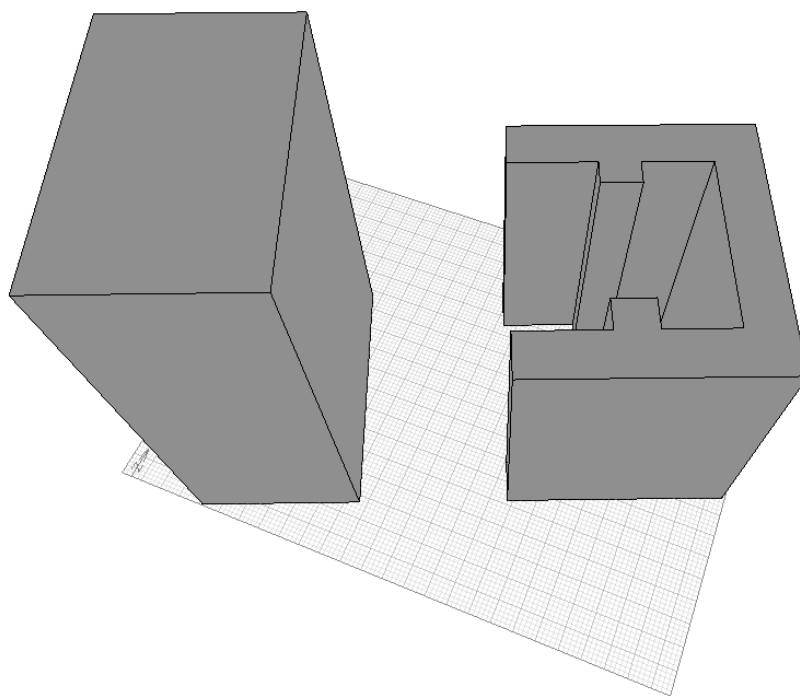


圖 2-27 高層，開放式庭院加塔

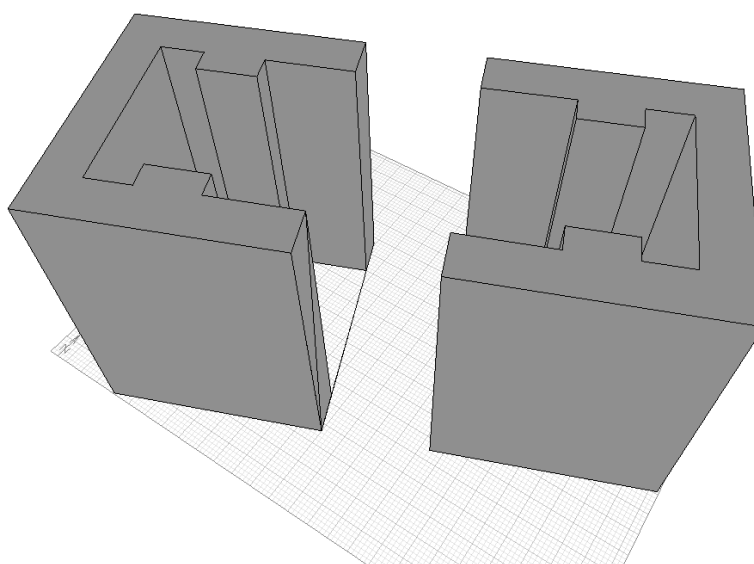


圖 2-28 高層，兩個開放式庭院

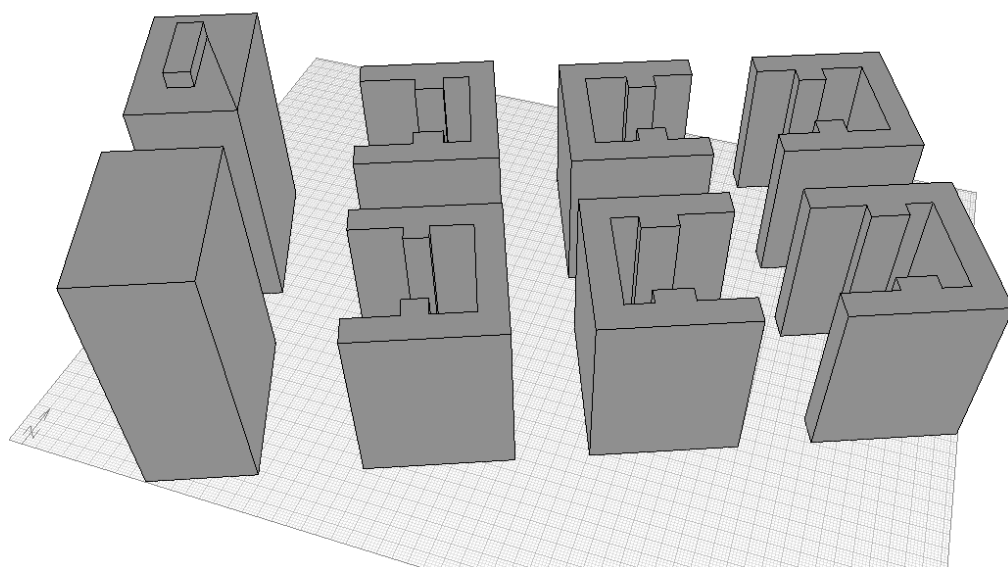


圖 2-29 高層，開放式庭院加塔

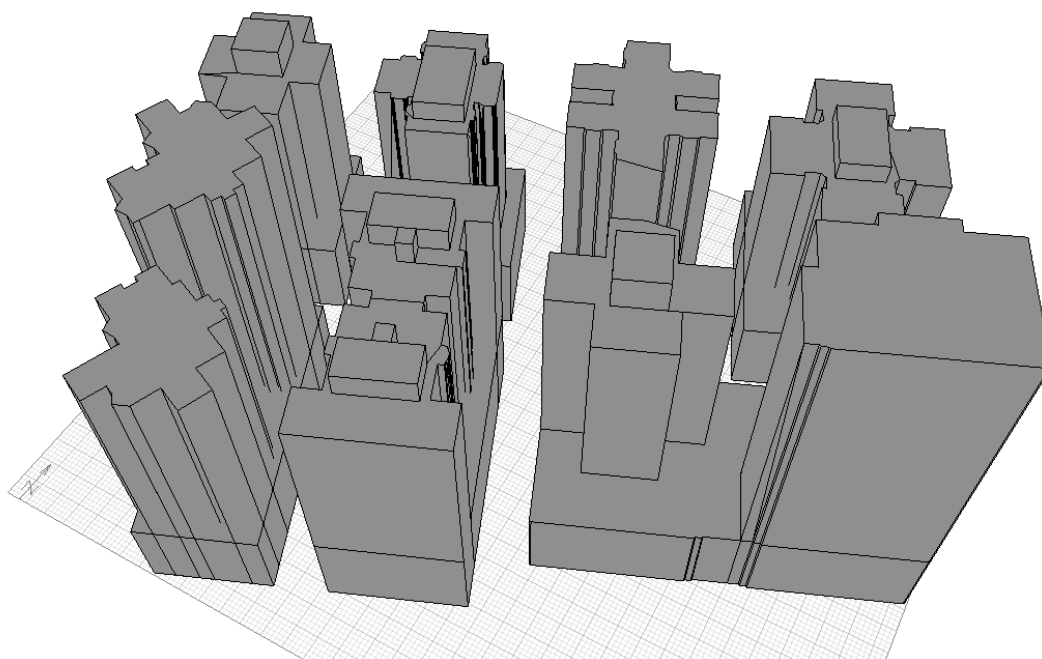


圖 2-30 高層，緊湊型塔

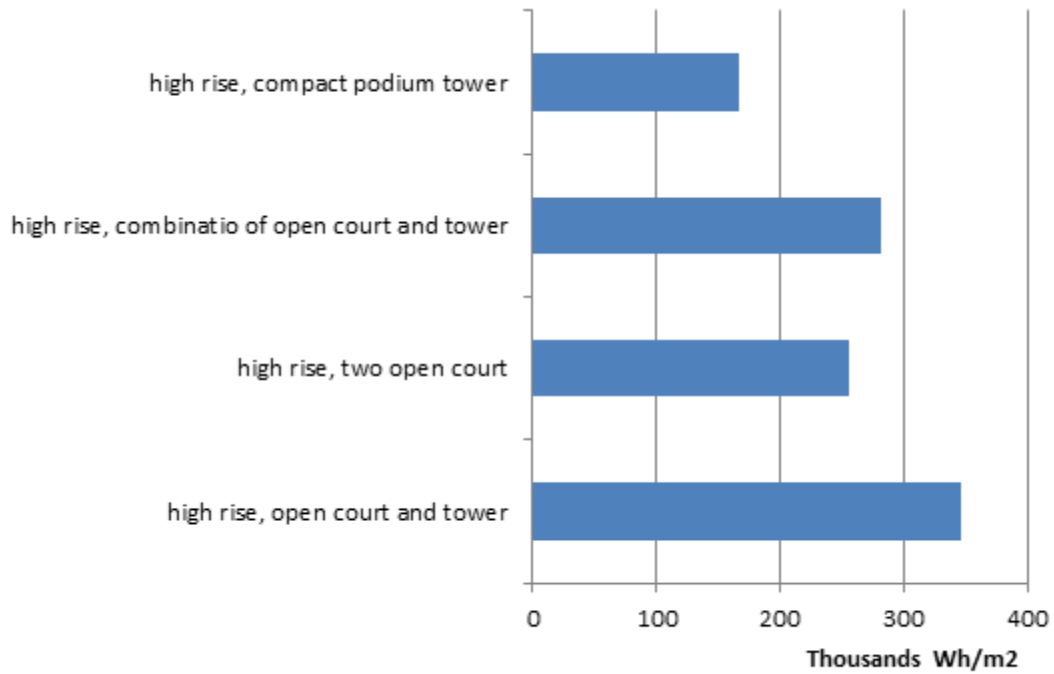


圖 2-31 街區結構的太陽能可接受能力比較

比較的結果如圖 2-31 所示。我們發現開外式庭院加塔這一外形的太陽能可接受能力最強，兩個開放式庭院這一佈局的太陽能可接受能力次強，緊湊型塔的太陽能可接受能力最弱。

2.4 第二部分總結

我們研究了大尺度區域（澳門），中尺度區域（新口岸和佑漢區）以及小尺度區域（街區）的建築的碳排放情況，得到了如下發現：

- 如果我們看 2004 到 2009 年的資料，澳門的人口增長迅速。假設這一人口增長率保持固定的話，那麼到 2014 年將有超過 60 萬人口居住在澳門
- 假設澳門單位人口的碳排放量是固定的話，到 2014 年澳門的總碳排放量將超過六百萬噸。然而，假設澳門單位人口的碳排放量以每年 5% 的速度遞減，到 2014 年，總碳排放量將超過三百八十萬噸。
- 假設最終澳門的總綠化面積達到 9 平方公里，根據我們採用的綠化面積到碳吸收率的轉化率，到 2012 年總的負碳排放將達到 1 萬 2 千噸，這只占澳門總碳排放率的五百分之一到三百分之一，取決於單位人口碳排放率的變化。
- 我們將兩種碳排放計算方法與實際測量資料進行對比，發現基於詳細建築類比軟體方法比基於土地使用情況的方法得到的計算結果更加接近測量資料，基於詳細建築類比軟體的計算結果與測量資料的誤差是 11%。但是，當我們在中尺度層面比較這兩種方法時，計算結果卻很接近（10% 以內）。
- 基於土地使用情況的方法，我們計算了新口岸和佑漢地區的總碳排放，結果分別是 55 萬噸和 34 萬噸。在 GIS 平臺上，我們也計算了這兩個區域的太陽能接受能力，分別是 2.8 萬噸和 2.9 萬噸。這意味著即使我們在所有的屋頂上都鋪上太陽能板，所抵消的碳排放量也只占新口岸的 5%，佑漢的 8.6%。
- 我們研究了建築參數和建築碳排放之間的關係，發現土地使用情況和總建築面積是兩個非常重要的影響因素。建築外形對建築的碳排放沒有顯著影響。
- 我們發現冷負荷占當地建築負荷的很大一部分，因此比較了幾種不同的製冷技術。我們發現在直接膨脹冷卻系統，變風量系統，四管風機盤管系統和雙管系統中，風機盤管系統和傳統變風量系統是最節能的系統。
- 我們研究了建築外形對太陽能接受能力的影響，我們發現 setback 的太陽能接受能力最強。其餘幾種太陽能接受能力較強的外形有開放庭院式，三角式和階梯式。

我們研究了街區結構對太陽能接受能力的影響。我們發現對於高層建築，塔加開放庭院式這一佈置所得到的太陽能輻射最多，緊湊塔型得到的太陽能輻射最少。

第三部分 低碳城市設計的政策架構及準則建議

以下依據本計劃在第一部分全球相關水岸城市的個案研究，以及第二部分澳門實例的研究成果分析為基礎，歸納出六項低碳城市設計的原則，作為一澳門填海新區下一階段實施低碳城市設計的政策性架構，並說明各項的相關準則如下：

- 一、 集中式的高密度發展政策
- 二、 土地的多元混合使用
- 三、 小地塊的街區及街道系統設計
- 四、 績效評估為導向的建築開發及空間形態準則
- 五、 多層次綠色空間設計原則
- 六、 其他重要的低碳城市設計因素：水

3.1 集中式的高密度城市發展政策

高人口密度與單位人口的 CO₂ 排放呈負相關，這可能與使用高層建築有關。那些單位人口的 CO₂ 排放最低的城市，大多數建築都是低層和中層，只有少數高層參雜其中。如果一個高人口密度城市要維持多數建築為低層或中層，那麼需很大面積的土地都用於建築上面。曼哈頓的人口密度是 每平方公里 27,611 人，比紐約市整體水準高得多。與此類似的是，澳門的佑漢和新口岸區的人口密度也比澳門整體的人口密度水準高很多。

在方法上，我們並無法總結在人口密度達到多大時，單位人口的 CO₂ 排放可達到最低。依據 B. K. Sovacool and M. A. Brown 對全球十二個都會區的碳足跡比較研究，發現除人口密度會影響碳排放外，經濟所得的水平也是另一關鍵因素，發展中國家的碳排放較低 (Sovacool & Brown, 2009) (21)，因此理論上，一個城市的人口密度愈高且所得生活水平愈低，將會「最低碳」。這顯然並非大多數城市發展所想要的目標，我們對於低碳城市發展的定義，需以提高生活水平以及宜居的程度為前提。是故，我們認為高密度城市發展的最大值的設定，必須以該城市政策所制訂的宜居水平及其最小人均面積為前提，再來制訂具有低能耗、低碳排放以及較高的太陽能接受度的城市設計準則，來產生該地區的街廓空間尺度和建築類型的規劃。

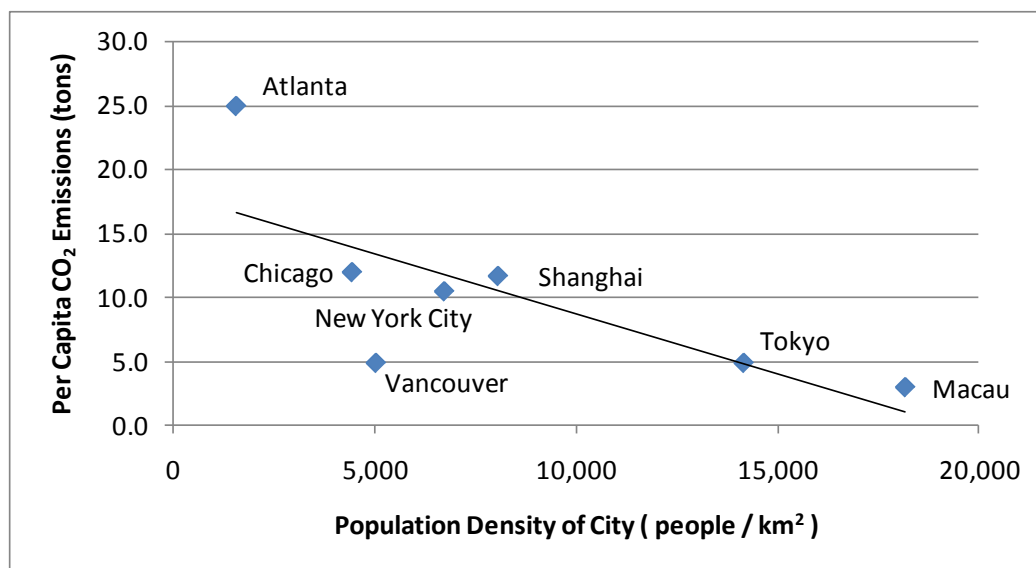


圖 3-1: Graph of per capita CO₂ emissions versus population density

我們所建議的「集中式高密度城市發展政策」，在澳門填海新區的未來規劃中，應以澳門總體宜居政策所制訂的居住水平及其最小人均面積，在不影響該居住水平的前提下，來設立一個人口居住密度的最小值，以降低整個城市的單位人口 CO₂ 排放量。根據 2009 年對澳門 N.S. de Fatima 和 Se 地區的估計，這兩個區的人口密度分別是每平方公里 67125 人和每平方公里 12853 人。本研究的兩個案例正落在這兩個區裡，佑漢區在 N.S. de Fatima 裡，新口岸在 Se 區裡。根據這個資料，再結合我們根據土地使用類型計算的 CO₂ 排放和根據建築模型計算的 CO₂ 排放，我們可以更好地理解人口密度對澳門碳排放的影響（表 3-2）。

表 3-2 澳門地區的單位人口碳排放密度

Area	Population	CO ₂ Emissions (metric tons)		Per Capita CO ₂ Emissions (metric tons)	
		Land Use Based	Energy Use Based	Land Use Based	Energy Use Based
Youhan	67,125	337,007	286,742	5.020589022	4.271768709
Xin Kou An	12,853	559,283	527,499	43.51382493	41.04091548

表 3-2 顯示，佑漢區的人口密度比新口岸區高得多，單位人口的 CO₂ 排放則小得多。佑漢區的單位人口 CO₂ 排放低，部分是因為佑漢區的總人口數高很多，總的 CO₂ 排放被分派到人口數之後單位人口 CO₂ 就小很多。

另一個降低碳排放的因素，是由於佑漢區和新口岸區在城市空間內部結構的差異所致，例如其土地使用類型以及建築空間形態的不同造成的。新口岸區的土地使用主要是由兩部分組成的：混合性和辦公樓，而佑漢區的土地使用則主要是由居住型和混合型組成。由於辦公樓比居住建築使用的能源較多，因此土地使用類型的不同，也是導致新口岸區單位人口 CO₂ 排放量較多的因素之一。至於建築空間形態所產生的的影響，將在第四項低碳城市設計原則「績效評估為導向的建築開發及空間形態準則」中討論。

3.2 土地的多元混合使用

通過土地使用類型方法計算建築的 CO₂ 排放，和通過建築模擬方法計算 CO₂ 排放都表明，土地使用類型影響著 CO₂ 排放。正如表 3-1 顯示的，混合性建築的 CO₂ 排放水準在辦公建築和居住建築之間。這可能是曼哈頓和芝加哥 CO₂ 排放水準高的原因之一，因為這兩個城市都有很多的辦公樓。因此，為了成為低碳生態城市或生態地區，選擇和規劃土地使用成為一個非常重要的因素。單位面積碳排放量高的土地類型不應當成為當地的主要土地使用類型，因為這使得當地抵消 CO₂ 排放非常困難。此外，同樣的使用類型意味著人們需要從居住區移動到工作區，這需要消耗額外的交通能耗。居住和工作區隔得越遠，交通所需要消耗的能源就越多。在第一及第二部份，我們使用基於土地使用類型的方法，對於包括兩個澳門案例在內的 12 個 1 平方公里地區的比較分析，證明了土地使用類型的混合型程度越高，CO₂ 排放量就越低。混合土地使用類型，包括水平方向和垂直方向兩種情況的混合，都可以用低 CO₂ 排放的土地使用類型來平衡高 CO₂ 排放的土地使用類型，進而在區域層面上可以達到零排放的效果。混合土地使用類型同時還能夠促進更多的步行和使用公共交通工具，因為不需要每天都要經過很長的距離的通勤才能上班。混合土地類型同時創造出了一個生機勃勃的社區，讓每天更多的時間都有活動在空間中產生，避免因為單一功能規劃而使社區成為一個死區。

表 3- 1: Carbon Emission Factors for Land Use Based CO₂ Emissions Method

Table 1. Carbon Emission Factors

Principal Building Activity	CO ₂ metric tons per 1,000 square feet
Residential	7.13
Commercial	10.91
Office	13.64
Mixed Use	10.91

Source: U.S. Department of Energy, 2005; Drummond, 2009

3.3 小地塊的街區和街道系統設計

每一個研究區域的街區和街道系統都很不一樣。根據我們對 11 個地區的分析（由於第 12 個地區是喬治亞理工校園，它的街區系統和城區很不一樣，因此排除在比較分析範圍之外），街區相互交叉得越密集，CO₂ 總排放量就越低。同時，街區交叉越密集，通過太陽能抵消 CO₂ 排放量的能力就越小。儘管我們的 CO₂ 排放量的計算是基於土地使用類型，也就是說沒有考慮街區和街道系統，但是由於街區和街道系統直接地影響了街區上建築的尺寸和外形，因此它們間接地影響了該區域的 CO₂ 排放量。

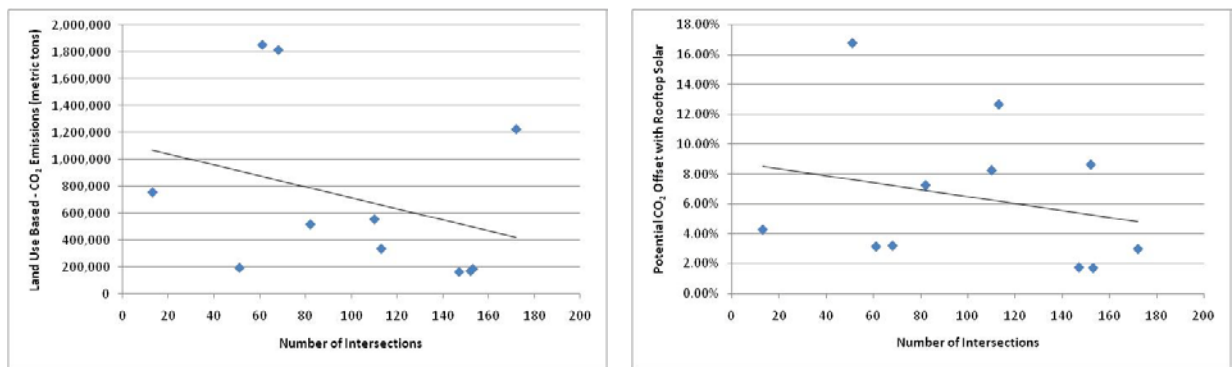


圖 3-2 和圖 3-3: 所有地區碳排放量，碳抵消量和交叉數的關係(excluding Georgia Tech Campus)

通過圖 3-2 和圖 3-3 的分析（街道交叉數的單位是個/平方公里），我們認為高交叉密度的街區結構能夠有利於低 CO₂ 排放的建築的建造。澳門兩個研究區域的交叉密度都很高，分別是 113 和 110。其餘交叉密度高的城市區域包括：曼哈頓市區，Kachidoki，東京和溫哥華的兩個地區。然而，當交叉密度很高時，我們發現利用太陽能抵消 CO₂ 排放的能力反而有下降的趨勢。我們發現當街區的交叉密度數在 80 到 120 個/平方公里時，建築的 CO₂ 排放量更低並且能夠維持一個較好的利用太陽能抵消 CO₂ 排放的能力。這個結論，呼應了早年著名的都市理論家 Jane Jacobs 所提倡的小地塊的街區與街道系統設計，將帶來城市空間的生機。澳門填海新城區未來的街區與街道系統設計，亦應該朝向小地塊的方式發展，並結合公共交通系統，以進一步降低該區可能的碳排放與能耗。

3.4 績效評估為導向的建築開發及空間形態準則

根據我們對各個地區尤其是澳門的研究，我們認為單棟建築的外形樣式對它的碳排放和太陽能接受潛力沒有很大影響。更重要的影響是建築的使用類型和尺度。我們的研究表明，使用太陽能板於建築的屋頂，以現在市場上太陽能版的效能（以太陽能最佳的轉換率為17-18%為例），想要以所再生的能源來完全中和該建築能耗所產生的碳排放並不可能。然而，我們的研究發現，對於尺度較小並且有機會達到較高太陽能接受度的建築而言，在把一個地區的所有太陽能板產生的能量加起來之後，屋頂太陽能板所產生的再生能源，仍可以在很大比例上可以來中和該建築的碳排放。在我們研究的12個地區中，績效最佳的城區是亞特蘭大 Midtown 和澳門的兩個地區。我們建議的未來準則訂定的目標，應該是提高太陽能所抵消的碳，在總 CO2 排放量中所占的比例。低碳城市設計的基本原則，應以降低該地區的碳排放量，以及提高地區通過太陽能來碳中和潛力兩方面同時並行。

下面的這組表格來自我們對12個1平方公里地區的分析。CO2 排放是使用基於土地使用情況的方法計算的，碳中和或 CO2 的抵消量，是基於計算屋頂太陽能板所得到的太陽能來計算。表格 3-3 顯示澳門的兩個地區，依據太陽能所能得到的碳抵消量占總 CO2 排放量的比例較高。這是由土地使用類型，建築空間形態以及地理位置決定的。表格 3-4 和 3-5 顯示了平均每平米的建築面積所排放的 CO2 量。平均來講，Mass 型建築比 Tower 型建築的碳排放量低。

表 3-3: Potential reduction in Land Use Based CO2 emissions and FAR in the 12 study areas using rooftop solar radiation capture at an efficiency of 18%.

	Atlanta - GA Tech	Atlanta - Midtown	Atlanta - Downtown	Chicago	Macau - You Han	Macau - Xin Kou An	Manhattan - Midtown	Manhattan - Downtown	Shanghai	Tokyo - Kachidoki	Vancouver Historic Center	Vancouver West End
Percent CO ₂ Offset	64.10%	16.78%	7.26%	3.15%	12.66%	8.26%	3.21%	2.99%	4.29%	8.64%	1.75%	1.72%
FAR	0.5	1.6	3.74	13	4.01	3.8	15.0	11.4	6.5	1.91	5.9	10.1

表 3-4

	单位面积碳排放 (metric ton/m ²)
Mass	0.31
Tower	0.87

表 3-5

	单位面积碳排放 (metric ton/m ²)
Low-Rise	0.42
Mid-Rise	1.03
High-Rise	0.83

FAR 越高，屋頂太陽能板所能提供的 CO₂ 抵消占總 CO₂ 的比例就越低。因此當需要很高的 FAR 來容納足夠多的人口時，就需要考慮產生低 CO₂ 排放的能力。澳門佑漢地區的情況表明，當 FAR 接近 4 時可以容納高密度的人口，但是 FAR 略微大於 4 可以提供更舒適的居住條件。因此我們建議的 FAR 最低值是 4，根據表 7，FAR 在 4 到 8 之間應當是合理的範圍。

分別使用基於土地使用情況和建築類比的方法對澳門的新口岸和佑漢區的 CO₂ 排放量，屋頂太陽能板提供的 CO₂ 抵消量和淨 CO₂ 排放量。計算結果顯示在表 3-6 中，兩種方法的平均值顯示在表 3-7 中。我們發現在所有的建築形態的種類中，Step Tower（或者 Podium Tower）和 Mass 的性能最佳。Tower 的性能最差。

表 3-6: Detailed Macau Typology study including CO₂ emissions and rooftop solar CO₂ offset

	Total CO ₂ (metric tons)	Total Floor Area (m ²)	Rooftop Solar CO ₂ Offset (metric tons)	CO ₂ /m ²	CO ₂ offset/m ²	Net CO ₂ (metric tons)	Percent Offset
Energy Based							
Mass	444380	1923791	39298	0.23	0.0204	405083	8.84%
Tower	74230	670240	4533	0.11	0.0068	69697	6.11%
Open Court	22493	517360	3352	0.04	0.0065	19141	14.90%
Step Tower	39706	1444600	25306	0.03	0.0175	14400	63.73%
Cross Step Tower	170809	1678571	15758	0.10	0.0094	155051	9.23%
Land Use Based							
Mass	283500	1923791	39298	0.15	0.0204	244203	13.86%
Tower	103284	670240	4533	0.15	0.0068	98752	4.39%
Open Court	60756	517360	3352	0.12	0.0065	57404	5.52%
Step Tower	238907	1444600	25306	0.17	0.0175	213601	10.59%
Cross Step Tower	200454	1678571	15758	0.12	0.0094	184696	7.86%

表 3-7: Average results from Table X (above)

Average	Percent Offset
Step Tower	37.16%
Mass	11.35%
Open Court	10.21%
Cross Step Tower	8.54%
Tower	5.25%

當建築可以接觸到太陽時，低層建築利用太陽能抵消總建築 CO₂ 排放的能力更強一些。這是由於低層建築的總建築面積小，因而建築的總 CO₂ 排放量也小，但是建築的屋頂面積卻和高層建築相類似，也就是說，低層建築的屋頂面積占總建築面積的比例較高，因此

更多的 CO2 可以被太陽能抵消掉。從建築形態來講，澳門的建築形態的種類裡性能較好的是 Step Tower 和 Open Court。儘管 Step Tower 的結果有可能在 GIS 的分析裡被放大，它仍然具有很大的抵消 CO2 的潛力。這可能是由於這種形態本身比較支持混合型土地使用，並且屋頂面積比傳統的 Tower 屋頂面積大。Step Tower 的上部一般用作商業用途，並且提供很多的屋頂面積，下部一般用作其餘用途，比如居住，辦公或者混合型。

總的來講，高層建築對低層建築的採光性能影響很大。對於那些高人口密度同時又需要提供開放空間的地區而言，低層建築的採光是個很大的挑戰。我們對澳門的兩個區域（尤其是佑漢區）的研究表明，高層建築比低層建築得到的太陽輻射多得多。因此，在設計高層建築的同時，要注意它對附近的周圍建築和公園的影響。

為了維持建築屋頂和街道內的採光，很重要的一點是考慮澳門在冬天和夏天的太陽角。夏天的太陽角接近 88 度，冬天的太陽角在 44 度附近。這可以通過規定針對街道寬度和街區尺寸的對 Podium Tower 的高度限制和 Tower 後退的距離來控制。這有點類似於紐約市的後退比例。但是由於澳門的太陽角很大，它的後退尺寸可以小一些。建築的分區對太陽採光和輻射有很大的影響。因此我們對澳門典型的建築區塊進行了研究，我們比較了它們的形態組成和性能，所得結果如表 3-8 所示。

在表 3-8 中，各建築分區的名字所代表的外形在下面的圖中顯示。

表 3-8: Based on Ecotect analysis, objects modeled as shown. Total solar radiation

	Total Solar Radiation (Kwh)	Total Solar Radiation Captured - 18% (Kwh)	CO2 Offset (metric tons)
YH_6 block group	154589	27826	20.73
XKA_4 block group_2	143472	25825	19.24
YH_5 block group	69940	12589	9.38
XKA_4 block group	38080	6854	5.11
XKA_1 block_2	11026	1985	1.48
XKA_1 block	7227	1301	0.97

圖 3-4: XKA_1 block

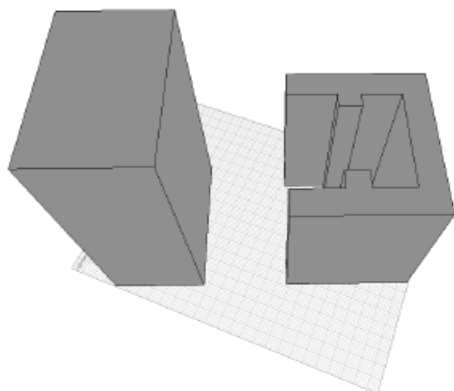


圖 3-5: XKA_1 block_2

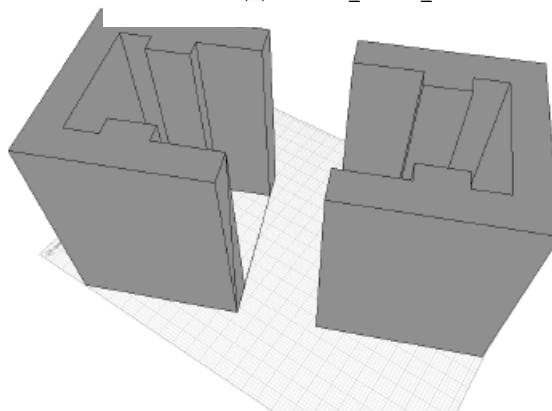


圖 3-6: XKA_4 block group

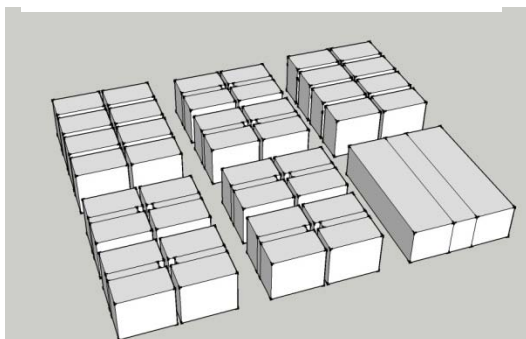


圖 3-7: XKA_4 block group_2

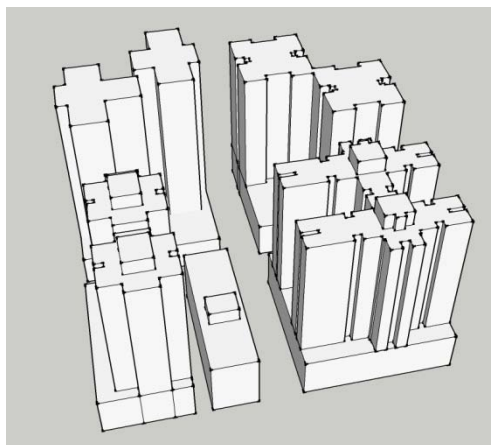


圖 3-8: YH_6 block group

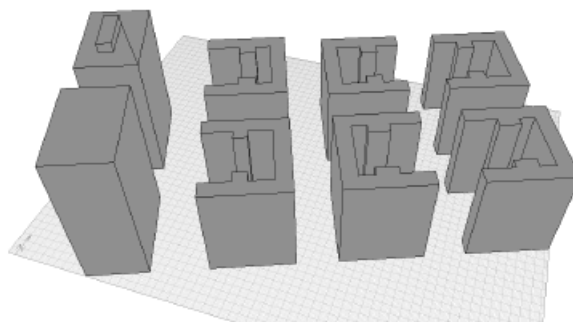
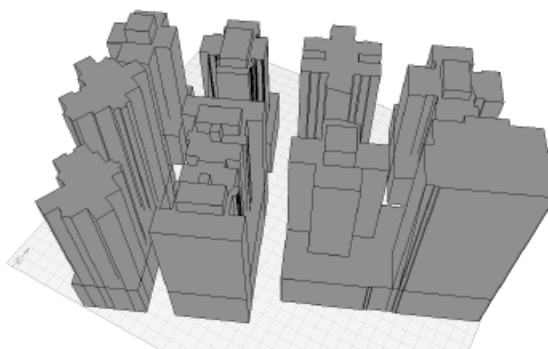


圖 3-9: YH_5 block group



將三套建築區塊進行比較，我們發現之前對於太陽能潛力的發現是正確的。對於只有兩個建築的街區而言，兩個 Open Court 建築的太陽能潛力比起一個 Tower 型建築加一個 Open Court 的建築的太陽能潛力大。新口岸區的四個街區的比較證明，Step Tower 類型的建築的太陽能潛力比 Tower 和 Open Court 類型建築的太陽能潛力大。佑漢區的例子 1 再次證明了前面關於低層建築的太陽能潛力的論斷，例子 2 再次證明了對於高層建築而言，Cross Tower 類型和 Cross-step Tower 類型的建築比 Tower 和 Open Court 類型的建築的太陽能潛力性能更佳。而這一組建築可以獲得更佳的太陽能接受性能如果建築之間的距離更大，或者建築的位置可以根據太陽路徑和太陽角重新調整一下。

整體來講，將低層 Mass 類型的建築和 Step Tower，Cross Step Tower 類型的高層建築結合起來提供了發展低碳排放地區的最優路徑。佑漢區本身已經提供了一個發展低碳地區的範本。然而，我們還是建議對現在的建築形態做一些調整：（1）對現在的 Podium Tower 類型的建築的塔部做一些回撤，以提高街道和建築屋頂自身的採光能力。此外，回撤 Podium Tower 的頂部有助於幫助街道形成一個外形（2）很高的高層建築應該放在主要街道的路旁，這樣建築的影子只會落在街道上，而不會影響對面的建築。（3）將 Step Tower 類型的建築和 Mass 類型的建築混合，已達到屋頂面積，太陽能接受能力，高人口密度和所需要的 FAR 之間的平衡。

上述以績效評估為導向的建築空間形態分析，明確的指出在不同建築空間類型與能耗、碳排放與太陽能接受能力的再生能源負碳設計機制之間有密切的相關性。未來的澳門填海新區若要走向低碳城市的方向，政府需以政策的獎勵措施，引入再生能源的負碳設計機制，以讓填海新區的低碳指標達到領先的作用。這項工作，必須跟澳門填海新區的城市設計工作緊密結合起來，從填海新區的全區、分區到街廓與基地等不同的尺度，依據所提的空間形態方案進行分析評估，建立績效評估為導向 (performance based evaluation) 的低碳指標，以和形態為主的城市設計準則相結合。

3.5 多層次綠色空間設計原則

我們的研究表明，如果通過綠色植被這一手段來中和碳，將需要大量的土地。碳中和所需的地表與建築表面積需求將大於城市開發面積的許多倍。以上海浦東的陸家嘴金融貿易區 28 平方公里的範圍為例，根據我們在 Georgia Tech 研究團隊的計算，其營運階段的年平均能耗，需要十八座同等面積的森林才能夠達到碳中和。研究也發現，以同樣面積的屋頂用來鋪設太陽能板所產生的再生能源以及減碳的效果，遠大於屋頂、陽台、牆面種植綠色植物所能減碳的效果。

然而，綠色空間如地面層的植被、樹林和屋頂綠化能夠帶來各種效益，對於低碳生態城市的發展仍不可或缺。街道兩旁的樹和植物為人和動物提供了所需要的樹蔭。綠色屋頂和牆體可以起到為建築維護結構絕緣的作用，從而降低建築所需的製冷量。綠色空間還可以降低城市熱島的影響，對於都市地區暴雨逕流的管理有很重要的作用。

如果把綠色空間、屋頂空間等利用來作為都市農業用地，生產比如新鮮水果，植物，香料等，其目的在於將「視覺性」的綠色空間，改造成為「生產性」綠色空間。生產性的綠色空間使得空間的生態系統複雜化且產生更多的循環關係，可和再生能源的技術相結合，並且以雨水收集、中水回收的系統來創造能源、物質及水的再生循環機制。儘管城市農業不太可能滿足澳門的食物需求，它提供了一種聯繫城市和自然的紐帶，也是重新組織都市環境的一種生態策略，其效益還包括環境教育，讓下一代學習食物的生產以及生態系統的過程。

未來澳門填海新區的低碳城市設計，需進一步落地來提出多層次綠色空間設計準則，引入新的城市規劃設計工具例如「生態容積率」(EAR) 的概念，來指導低碳城市的規劃與建設。

3.6 其他重要的低碳生態設計因素：水

本研究將焦點集中於城市空間形態與低碳及能耗效率的關係，然而還有許多的生態設計因素在本報告中雖未涉及，卻扮演十分重要角色，例如水資源與城市系統的整合、設計與管理與低碳城市有密切關係，我們在未來需進一步討論水與能耗相關的系統設計整合係數 (water –energy nexus)。例如將暴雨轉到透水率高的規劃區，包含都市滯洪池、生態工法的排水系統、或者是透水性的排水管斗，可以減少污水處理所需的能耗，並提高綠色空間所需要的水分。綠色街道 (green street) 這一策略可以讓雨水在綠色空間或者其他有生態規劃管制的空間與系統中得到更有效的收集，並自然地滲透到土地裡或者蒸發蒸散。換言之，綠色街道有助於在雨水進入排水管道之前收集它們，促進水的自然迴圈。此外，綠色街道可以提供行人樹蔭。由於澳門經常會有暴雨，生態工法所規劃的排水系統將有助於防止水災。

值得一提的是，目前澳門在歷史老城有很多噴泉，它們既提高了公共廣場的審美感，又提供給了行人舒適的功能，它們還能夠通過蒸發來降低廣場的溫度。如何延續澳門老城區的城市設計元素，讓將噴泉與廣場的設計語彙能夠再現於澳門的填海新區城市設計中，另一方面，結合雨水回收（例如噴泉水可以使用回收的雨水）、生態工法排水（以透水觀念設計廣場及開放空間）、並結合滯洪池設計等功能，以整體性的提高水與能耗系統效率，降低污水處理過程的能耗以及碳排放，成為未來低碳城市設計的重要準則之一。

結論

全球氣候變遷與地球暖化的問題，迫使我們重新思考低碳社會、低碳經濟與低碳城市的必要性。新的城市設計原則必須從根本上去挑戰過去依賴石油能源的城市系統與規劃方法。是故，如何尋求低碳、低能耗的城市空間佈局與系統，如何以再生能源的潛能觀點來重新設計城市，成爲一種必須面臨的挑戰。澳門填海新區正面對這個全球城市共同的挑戰，澳門也因為低碳城市政策，將創造新的機遇，在亞洲城市競爭的過程中佔有先機。

低碳城市具有環境友好這一特徵，因為它們的密度，混合使用，和交通允許人們很容易有效率地工作，被環境所愉悅和接觸到文化特徵”（Climate Design，Droege, 2010）。根據 Peter Droege 的氣候變遷設計報告，曼哈頓居民的能源消耗只占美國人平均水準的一半。著名的低碳城市研究專家 Georgia Tech 公共政策學院教授 Marilyn Brown 也在她對於全美兩百個都會區的碳排放研究中得到以下的結論：「如果美國郊區低密度的發展模式能夠將人口密度從 0.2 提高到 6.7 (人/英畝)，城市的碳排放量將會整體降下一半 (Brownet al., 2009) (22)」。我們的研究也有同樣的發現，以人均的角度來計算，高密度的城市環境被證明比分散的環境更低碳。這個結論提供澳門往低碳城市政策發展的一個清晰方向，澳門未來填海新區應朝集中式的城市發展模式，並留設更大的開放空間來做爲其他生態環境基礎設施及公共空間用途。

然而，這項結論政策，並不足以指導我們對未來澳門填海新區如何進行低碳城市設計。低碳城市的建設，仍須在中尺度的城市設計層面，提出一分析城市內部空間結構（包含密度、交通與街廓系統、城市空間形態等）及其碳排放以及能耗效率的關係，據以擬出政策架構及一系列的設計準則。

針對於這一問題，本研究採取一由下而上的低碳分析及績效評估方法，以空間資料爲基礎，深入探討城市空間形態如何影響它的能耗、碳排放性能及太陽能潛力的減碳策略。根據我們第一階段報告對全球水岸城市產生的變異情況及其比較，和第二階段報告針對澳門兩個現有城區實例的分析，我們在最後第三部分的報告，歸納提出六項低碳城市設計的原則，包含集中式的高密度發展政策、土地的多元混合使用、小地塊的街區及街道系統設計、績效評估爲

導向的建築開發及空間形態準則、多層次綠色空間設計原則、其他重要的低碳城市設計因素水等。

我們所提出的這六項準則，可以讓我們將焦點集中在城市內部空間結構的「中尺度」的城市設計層面，將街區尺度的空間形態與其碳排放績效加以評估，其目的正是爲了應用於澳門填海新區這種尺度與層面的地區規劃，所需的的政策架構及其準則建議。這一套方法，可以用來銜接上位更大尺度的澳門總體低碳政策，以及下位更小尺度的基地開發、綠建築設計及準則。

最後，我們強調在未來實施階段，澳門填海新城區需建立一可落地的低碳城市設計準則及績效評估，亦即落實到每一個街區應該如何設計，每一個建築該如何規範的細節。準則需建立在該基地範圍的城市設計方案、過程與規劃實施機制的基礎之上。本報告所提供的方法、流程與架構，提供了下一階段工作的基礎。

參考資料

References

1. <http://www.beltline.org/BeltLineBasics/BeltLineBasicsOverview/tabid/1691/Default.aspx>
2. <http://www.midtownalliance.org/>
3. <http://www.gatech.edu/about/>
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Midtown_Manhattan
5. http://en.wikipedia.org/wiki/Commissioners'_Plan_of_1811
6. http://en.wikipedia.org/wiki/Lower_Manhattan
7. <http://english.pudong.gov.cn/html/pden/portal/index/index.htm>
8. <http://www.metro.tokyo.jp/ENGLISH/PROFILE/index.htm>
9. <http://www.chuo-kanko.or.jp/english/tukishima/profile.html>
10. http://www.metro.tokyo.jp/ENGLISH/LINKS/links1_pic.htm
11. <http://www.stat.go.jp/english/index.htm>
12. <http://www.yukitora.com/apt/tsukishima.html>
13. <http://vancouver.ca/aboutvan.htm>
14. <http://www.metrovancouver.org/Pages/default.aspx>
15. http://vancouver.ca/community_profiles/west_end/index.htm
16. http://vancouver.ca/community_profiles/downtown/didyouknow.htm
17. <http://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC>
18. U. S. Department of Energy (2005). Household, Buildings, Industry and Vehicles End Use Energy Consumption and Analysis.
19. <http://www.ctbuh.org/TallBuildings/HeightStatistics/HeightCalculator/tabid/1007/language/en-US/Default.aspx>
20. <http://www.nef.org.uk/greencompany/co2calculator.htm>
21. B. K. Sovacool and M. A. Brown, "Twelve metropolitan carbon footprints: A preliminary comparative global assessment," Energy Policy, vol. 38, no. 9, p. 4, 2010.
22. Brown, M. A., Southworth, F., Sarzynski, A., 2009. The geography of metropolitan carbon footprints, Policy and Society 27, 285-304.